

# 半干旱区环境因子对柠条灌木林结构的影响

赵艳云<sup>1,3</sup>, 程积民<sup>1</sup>, 王延平<sup>2</sup>, 万惠娥<sup>1</sup>, 胡相明<sup>1,3</sup>

(1. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 2. 山东农业大学, 山东 泰安 271000;  
3. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘要:** 以半干旱区宁夏固原 17 a 生柠条灌木林为研究对象, 分析了不同地形、整地方式及降雨量对柠条生长形态的影响, 并对影响柠条单株形态组成的指标进行了主成分分析。研究表明: (1) 不同坡位对柠条的株高、根深、生物量影响显著, 而对柠条的分枝数没有明显影响; 不同整地方式对柠条的株高、分枝、根深及单株生物量均影响显著。(2) 降雨量对柠条形态组成影响深刻, 柠条的株高、分枝、单株生物量与年度累积降雨量之间呈“S”型曲线, 说明柠条形态建成与降雨量有极大的相关性; 根系的生长与降雨量之间则呈指数规律增长。(3) 柠条各生长指标间存在着紧密的联系。株高、分枝、株生物量是描述柠条地上部形态结构特征的指标组合; 根深则是描述柠条地下形态结构的指标。

**关键词:** 柠条; 年降雨量; 形态结构; 坡位; 整地方式

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2005)03-0010-05

中图分类号: S793.3

## Influence of Environmental Factors on Formation of Morphological Structure of *Caragana Korshiskii*. in Semi-arid Region

ZHAO Yan-yun<sup>1,3</sup>, CHENG Ji-min<sup>1</sup>, WANG Yan-ping<sup>2</sup>, EAN Hui-e<sup>1</sup>, HU Xiang-ming<sup>1,3</sup>

(1. Institute of Soil and Water Conservation, CAS, Yangling District 712100, Shaanxi Province, China;  
2. Shandong Agriculture University, Tai'an 271000, Shandong Province, China;  
3. Post-graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100099, China)

**Abstract:** Using the *Caragana korshiskii*. shrubbery of 17 years in Shanghuang as the studied object, this article analyzed the effect of different topography, site preparation modes and annual accumulated rainfall to the formation of morphological structure of the *Caragana korshiskii*. shrubbery. The height, the root depth, the number of branches and the biomass of *Caragana korshiskii*. shrubbery in different topography and preparation modes were studied. By using the principal component analysis, the results suggested: (1) The effect of different topography was significant to the tree height, root depth and biomass, but the number of branches was not. The effect of different site preparation was also significant to all biologic indices. (2) The effect of annual accumulated rainfall on the formation of morphological structure of *Caragana korshiskii*. shrubbery was high. By analyzing the regression about tree height, root depth, number of branches and biomass of *Caragana korshiskii*. with total precipitation, the curve of tree height, the number of branches and biomass were showed as "S" pattern, which suggested the correlation between the annual accumulated rainfall and the indices were very large. The relationship between root depth and the annual accumulated rainfall was the shape of exponential curve. (3) All growth indices have close relation. Tree height, branches and biomass were aboveground combined indices to the descriptive of plant and the root depth was the under-ground one.

**Keywords:** *Caragana korshiskii*.; annual accumulated rainfall; morphological structure; topography; preparation modes;

柠条是锦鸡儿属 (*Caragana Fabr.*) 植物栽培种的通称, 为豆科灌木类植物<sup>[1]</sup>, 广泛分布于黄土高原、河西走廊等地, 具有较强的防风固沙和保持水土

能力, 同时又是优质的灌木饲料资源, 具有较高的生态经济价值, 是我国北方农牧交错带具有较大推广应用价值的灌木树种。

收稿日期: 2004-10-15

资助项目: “十五”国家科技攻关计划项目(2001BA508B19); 国家自然科学基金重点项目(30230290); 国家重点基础研究发展规划“973”项目(G2000018606); 国家高技术研究发展计划(863计划项目 2002AA6Z3301); 国家林业局荒漠化监测专项资助

作者简介: 赵艳云(1981—), 女(汉族), 山东省诸城市, 在读硕士生, 研究方向为森林生态学。电话(029)87012272, E-mail: yanyun0602@126.com。通讯作者: 程积民, 电话(029)87012272, E-mail: gyzcjm@isw.c. ac. cn。

近年来,随着黄土高原灌木林面积的扩大,柠条发挥着越来越大的生态和经济效益。

本文通过对固原上黄基点柠条林的生物学指标进行测定分析,研究了柠条的形态结构与环境因子的关系,以期对柠条资源的合理开发利用提供理论依据。试验区位于上黄村东山,海拔1 600~1 750 m,属黄土高原半干旱区,年均降雨量406 mm,其变异系数为0.188,丰水年占25.0%,平水年占37.5%,干旱年占37.5%。降雨量少,且时空分布不均,6—8月份降雨量占年65%~75%,年均气温6℃~7℃,≥9℃积温2 900℃~3 200℃,年蒸发量为1 400~2 065 mm,干燥度为1.5~2.0。该区植被属森林草原向典型草原的过渡类型,草地植被退化严重,覆盖度不足25%,生物量仅1 050 kg/hm<sup>2</sup>,且有毒有害和旱生植物生长蔓延,优良中生植物分布少且生长缓慢,坡面土壤坚硬,降水入渗率低,水土流失严重。

## 1 研究方法

### 1.1 试验材料

选取适宜在黄土高原半干旱区种植的多年生灌木柠条(*Caragana korshinskii*),1985年在宁夏固原上黄东山半阳坡,采用水平阶工程整地方法,水平阶阶面宽100 cm,反坡3°~5°(形成外高内低),水平阶长沿山体水平延伸,水平阶间距300 cm,在水平阶阶面进行穴播种植,每水平阶种植一行,株距150 cm,密度为2 200株/hm<sup>2</sup>。荒坡选择在于水平阶处在相同的立地条件下,采用相同的密度进行穴播种植。

### 1.2 柠条生长的测定

从柠条幼苗木质化后选取代表样地10 hm<sup>2</sup>,设样方3组,重复3次,每组面积4 m×4 m。每年在生长的3月中旬、7月上旬、10月上旬定期进行分枝、株高、生物量测定和周围野生植物的记名样方调查,每次调查时间和柠条生长调查同步进行,记名样方调查量为10个,样方面积为1 m×1 m。

### 1.3 数据处理

对不同坡位、整地方式下柠条的株高,根深,分枝数,株生物量进行方差分析。用累积年度降雨量对柠条的各生长指标进行回归分析,研究降雨量与柠条形态结构的关系;用主成分分析法研究柠条各生长指标之间的内在联系,并对其进行分类。统计分析在SPSS软件下完成。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同坡位及整地方式对柠条形态结构建成的影响

对柠条各生长指标进行双因素方差分析,其结果见表1和表2。

表1 区组间因素分析

生长指标	坡位	整地方式	坡位*整地方式
株高	0.013*	0.000**	0.738
分枝	0.110	0.000**	0.744
根深	0.011*	0.000**	0.590
株生物量	0.047*	0.000**	0.712

注: \*为 $p < 0.05$ ; \*\*为 $p < 0.01$ 。

表2 不同整地方式间的多重比较

生长指标	水平阶	水平沟	鱼鳞坑	荒山不整
株高	128.261Aa	148.78Aab	137.780Ab	85.536Bc
分枝	17.667Aa	17.111Aa	11.750Aa	10.352Bb
根深	3.683Aa	3.441Aa	3.208Aa	2.080Bb
株生物量	1.507Aa	1.378Aa	1.254Aa	0.772Bb

注:小写字母为 $P < 0.05$ 水平;大写字母为 $P < 0.01$ 水平。

由表1可以看出不同的坡位对柠条的株高、根深、生物量生长有显著影响,而对柠条的分枝没有显著影响;从所测得的数据中可以看出中坡柠条的株高、根深、生物量明显的高于上坡,这可能是由于不同的坡位导致了地面温度、湿度及地面蒸发量的差异,中坡积聚了更多的土壤水分,其小环境对于柠条的生长具有优势。

由表1、2可见,不同的整地方式对柠条的株高、分枝数、根深、株生物量有显著影响。通过LSD多重比较可以看出,对柠条的株高来说,水平阶、鱼鳞坑、水平沟之间差异显著,水平阶、水平沟、鱼鳞坑与荒山不整地差异都达到极显著水平;其中柠条株高的生长量是水平阶>水平沟>鱼鳞坑>荒山不整地,这与程积民<sup>[10]</sup>等的研究相吻合。对柠条的分枝,根深,株生物量来说,水平阶与荒山不整地;水平沟与荒山不整地;鱼鳞坑与荒山不整地之间差异都达极显著水平,而水平阶、水平沟、鱼鳞坑整地下柠条林的分枝数、根深、株生物量没有差异。这主要是由于黄土高原地区自然条件恶劣,少雨及年降雨分布不均匀,导致了春夏季干旱,通过整地引起了微地形的改变,人为创造了具有积水能力的“小水库”,将水分储蓄,不使之流失,防止水流汇集形成地表径流<sup>[8]</sup>,引起新的水土流失,而且通过整地翻松土壤,土体会变的疏松多孔,总孔隙度和田间持水量均有增加,土壤渗透能力增强,降水可以迅速渗入较深土层中保蓄起来,整体提高了土壤含水量<sup>[7,9]</sup>;同时整地改变了光照条件,调节了土壤温度,间接地提高了土壤肥力,此外,清除杂草,减免了杂草对水分、养分的争夺<sup>[3]</sup>,有利于柠条的生长。同时不同的整地方式因土壤松度不同,对降雨的吸收和入渗也不相同,从而对柠条根系乃至株高等的

生长产生不同影响。调查表明,鱼鳞坑较之水平沟、水平阶整地能够很好地起到蓄水保墒的作用,但土壤翻松度明显不如水平阶、水平沟整地从而不利于根系的深扎。在调查中发现,一些鱼鳞坑由于整地质量较差,土地未经深翻,使根下扎困难,出现“溜皮草”,“卡脖”等现象,影响柠条的正常生长<sup>[10]</sup>。因此建议在相应的坡位上应实行合理的整地措施,从而有利于柠条的生长和天然植被的快速恢复。

由表 1 可见,不同坡位与整地方式间对柠条的形态结构不存在交互效应,其显著性水平都小于 0.05。

## 2.2 降雨量对柠条形态结构的影响

由图 1、2 可以看出:在柠条生长的前 11 a 内,株高、分枝数、株生物量、根深随降雨量的增加基本上呈直线上升的趋势;第 12 a 降雨量最大,达到 511 mm,

柠条的株高、分枝数、株生物量的增幅达到最大,但在以后的生长过程中,柠条的各生长指标基本处于稳定状态,偶尔有衰退现象,这是由于随着柠条生长年限的增加,土壤干层的出现是柠条生长衰退的主要原因<sup>[2]</sup>。同时,柠条的生物量很大,养分吸收量高,随着柠条生长年限的增长,土壤速效性养分含量呈下降趋势,尤其是速效钾的含量降低非常明显,微量元素含量也有所降低,特别是铁含量降低很多。由于缺水造成固态养分的融化与供应滞后,当柠条生长到一定年限后,就会出现部分营养元素的亏缺,这必然使得柠条在达到一定树龄后生长停滞甚至出现衰退的情况<sup>[5-6,10]</sup>,因此建议柠条林 5~7 a 平茬一次,对立地条件差,水分肥力缺乏,难以恢复林相的柠条林,应进行一定的人工管理<sup>[4,7,10]</sup>。

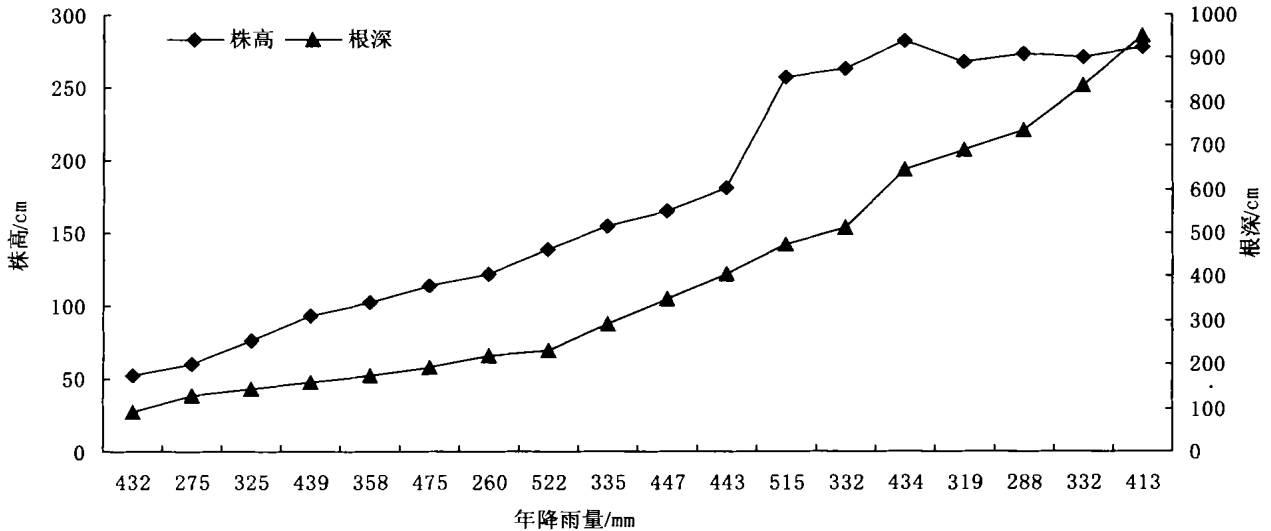


图 1 株高、根深随降雨量的变化

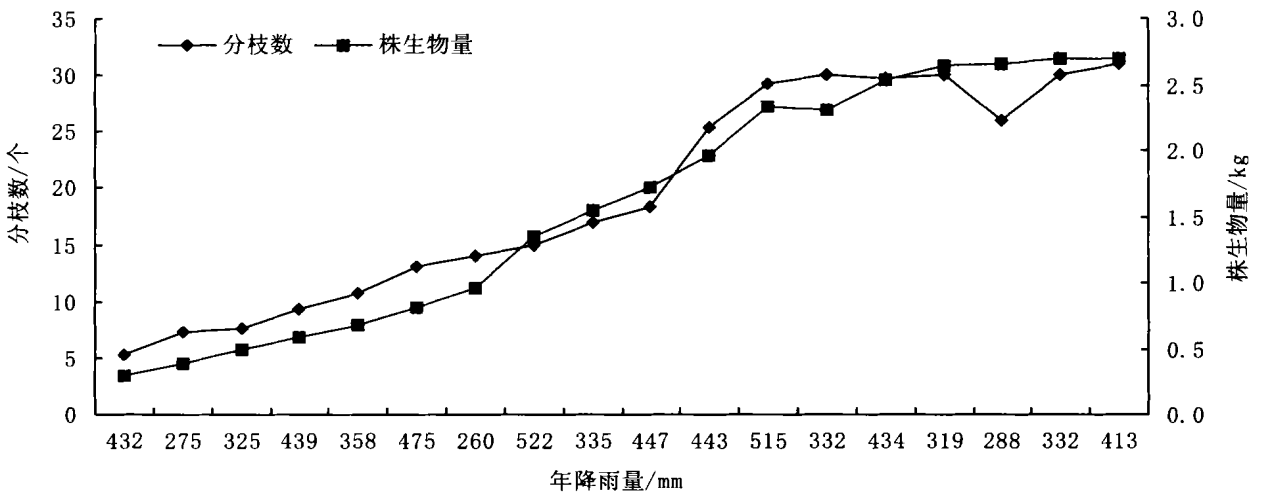


图 2 分枝数、株生物量随降雨量的变化

2.2.1 柠条株高、分枝、株生物量与年度累计降雨量之间的 Logistic 曲线 测定结果表明, 柠条的株高、分枝、株生物量与累积降雨量之间呈“s”型生长曲线, 根据测定数据对柠条株高、分枝、株生物量的动态进行数学模拟, 拟合了它们的 logistic 曲线, 经检验达显著水平 ( $p < 0.05$ )。

$$Y_1 = \frac{280}{1 + 0.0167 e^{-0.9997x}}, \quad R_1 = 0.837$$

$$Y_2 = \frac{32}{1 + 0.1533 e^{-0.9997x}}, \quad R_2 = 0.814$$

$$Y_3 = \frac{2.8}{1 + 2.604 e^{-0.9997x}}, \quad R_3 = 0.858$$

式中:  $Y_1$ ——株高;  $Y_2$ ——分枝数;  $Y_3$ ——株生物量;  $x$ ——累积降雨量;  $R_1, R_2, R_3$ ——方程  $Y_1, Y_2, Y_3$  的相关系数。

2.2.2 根系拟合指数曲线 柠条的根系极其发达, 为轴状根系<sup>[3]</sup>, 通过拟和曲线, 可以看出其呈指数规律增长:

$$Y_4 = 0.9404 e^{0.0003x}, \quad R = 0.886$$

式中:  $Y_4$ ——根深;  $x$ ——年度累积降雨量。

2.2.3 根深/株高比的变化趋势 植物的形态组织是一个统一的整体, 地上部对地下部的生长有重要影响, 它是地下部生长发育的能量来源, 又依靠地下部吸收其生长所需的水分和营养物质, 因此我们将根深/株高比作为一个衡量指标, 研究降雨量对其的影响。在图3可以看出, 柠条生长前期根深/株高基本保持不变, 维持在2左右, 在第2a出现了一个峰值, 主要是因为该年度降雨量仅为275 mm, 柠条生长受到干旱胁迫的影响, 将更多的资源分配到根系生长, 这样才能在土壤中获得更多的水分和营养物质, 以提高生长能力。第11a出现了最低值, 这一年的年降雨量为511 mm, 为丰水年, 柠条不再受干旱胁迫, 将营养物质相对多地及时供给叶和枝的生长, 以便于分配更多的资源获更多的光能, 提高光合速率, 满足植物本身消耗和生长的需要。在柠条生长后期其比值逐渐增大, 主要因为冠幅的增大引起了强烈的蒸腾耗水, 天然降水已不能满足柠条生长的需要, 根系需要吸收更多深层的水来提高抗旱力, 而根系的继续伸长与株高的生长停滞甚至下降必然使比值呈增大趋势。

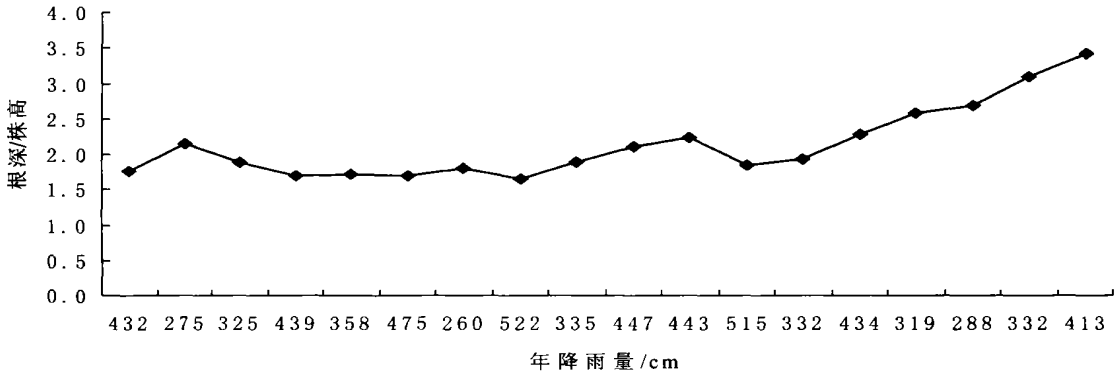


图3 根深/比株高随降雨量的变化

### 2.3 柠条灌丛的形态结构分析

柠条灌丛的形态结构既受树种遗传特性和所处立地环境条件制约, 也受人为经营措施的影响, 各项形态指标间有密切的相互依赖性。我们首先用主成分分析法研究其指标间的内在联系并按主成分将性质相近的指标分类(见表3)。

由表3可见, 前2个主成分累计贡献率达87.751%, 信息损失仅为1.25%, 我们就取前2个主成分研究柠条的形态结构, 计算各因子负荷量, 结果见表4。把第1和第2主成分对各形态结构的负荷量作为纵横坐标, 建立因子负荷量坐标系(图4), 从而直观的表现各项形态结构指标的归类结果。从图4中可以看出, 柠条灌丛形态指标可分为2类, 株高、

分枝、株生物量为第1类, 根深为第2类; 第1类3个指标间关系密切, 是描述柠条地上部形态结构特征的指标组合, 而第2类根深则是描述柠条地下形态结构的指标。

表3 主成分总方差分解

主成分	未经提取特征值			因子提取特征值		
	特征值	百分比	累计百分比	特征值	百分比	累计百分比
1	3.746	86.147	86.147	2.108	53.227	53.227
2	0.940	2.603	87.751	1.721	45.523	87.751
3	0.031	0.767	88.517	—	—	—
4	0.018	0.473	90.000	—	—	—

表 4 因子矩阵

生长指标	主成分	
	1	2
株高	0.880	-0.020
分枝数	0.875	-0.187
根深	0.865	0.252
株生物量	0.882	-0.032

注: 提取方法为主成分分析法。

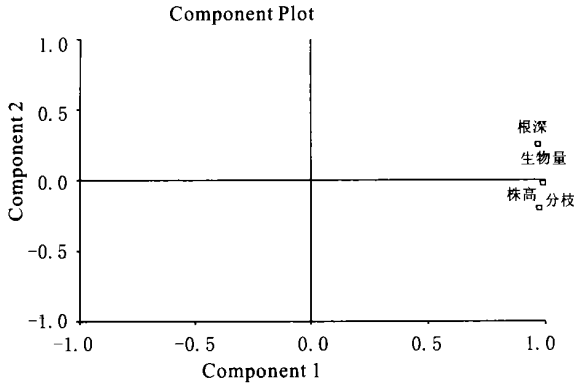


图 4 各因子负荷量情况

### 3 结论

(1) 不同的坡位对柠条的株高、根深、生物量有显著影响, 中坡柠条的株高、根深、生物量明显高于上坡; 而不同的坡位对柠条的分枝数没有明显影响, 这主要是因为不同坡位导致了地面温度、湿度及地面蒸发量的差异, 使中部的小环境优于上坡位, 引起植物生长指标的不同。

(2) 不同的整地方式对柠条株高、分枝、根深、株生物量有显著影响。由 LSD 多重比较可以看出, 对柠条株高来说, 水平阶与鱼鳞坑, 荒山不整; 水平沟与荒山不整; 鱼鳞坑与荒山不整之间差异显著; 对柠条的分枝、根深、株生物量来说, 水平阶与荒山不整; 水平沟与荒山不整; 鱼鳞坑与荒山不整之间差异显著, 这主要是由于不同的整地方式通过改善土壤结构、土壤肥力及土壤水分状况等进而影响了柠条的生长。建议在相应的坡位上进行合适的整地措施, 从而有利于柠条的生长和植被恢复<sup>[10-11]</sup>。

(3) 在半干旱地区, 水分是植物生长的主要限制因子, 一般年份, 年降雨量越多, 植物生物量就越高, 然而柠条生物量的年度变化与降雨量的年度变化并不总是一致的, 同时不同的降水量都影响着柠条的株高, 分枝数和根深的生长。柠条的株高、分枝、株生物量跟累计年度降雨量均呈“S”型生物学生长曲线, 这可能是柠条个体间的相互作用, 以及生理机能的自我制约, 对植物自身的生长过程产生了抑制作用, 以及

水分因子的限制作用使其生长规律为 S 型趋势。因柠条生长到一定年限后会出现生长衰退的现象, 建议柠条林 5~7 a 平茬一次, 对立地条件差, 水分肥力缺乏, 难以恢复林相的柠条林, 应进行一定的人工管理<sup>[4, 10]</sup>。而根系的生长呈指数规律增长, 是由于柠条的树冠、生物量不断增加, 长到一定的程度, 土壤表层的水分已不能满足其蒸腾耗水的需要, 庞大的根系只有从深层土壤吸收水分, 才能增加其抗旱力。

(4) 柠条生长前期根深/株高比基本保持不变, 维持在 2 左右, 在第 2 a 出现了一个峰值, 主要是因为这年降雨量仅为 275 mm, 柠条生长受到干旱胁迫的影响; 第 11 a 出现了最低值, 这年降雨量为 511 mm, 为丰水年; 但到柠条生长后期其比值逐渐增大, 主要是因为冠幅的增大引起了强烈的蒸腾耗水, 天然降水已不能满足柠条生长的需要, 根系需要吸收更多深层的水来提高抗旱力, 而根系的继续伸长与株高的生长停滞甚至下降必然使比值呈增大趋势。

(5) 用主成分分析法研究柠条各生长指标间的内在联系, 并将性质相近的指标分类, 柠条灌丛形态指标可分为 2 类, 株高、分枝、株生物量为第 1 类; 根深为第 2 类。第 1 类 3 个指标间关系密切, 是描述柠条地上部形态结构特征的指标组合, 而第 2 类根深则是描述柠条地下形态结构的指标。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] 牛西午. 柠条的栽培与利用[ M ]. 太原: 山西科学教育出版社, 1997. 1—10.
- [ 2 ] 杨文治, 邵明安. 黄土高原土壤水分研究[ M ]. 北京: 科学出版社, 2000. 50—150
- [ 3 ] 韩刚, 韩恩贤, 薄颖生, 等. 黄土高原不同整地方法造林试验[ J ]. 陕西林业科技, 2003(4): 34—37.
- [ 4 ] 陈云明. 黄土丘陵区柠条生物量调查研究[ J ]. 陕西林业科技, 1993(4): 23—27.
- [ 5 ] 牛西午, 张强, 杨治平, 等. 柠条人工林对晋北土壤理化性质变化的影响研究[ J ]. 西北植物学报, 2003, 23(4): 627—632.
- [ 6 ] 盛伟彤主编. 人工林地力衰退研究[ M ]. 北京: 科学出版社, 1992. 1—20
- [ 7 ] 王孟本, 李洪建. 黄土高原人工林水分生态研究[ M ]. 北京: 中国林业出版社, 2001. 10—35
- [ 8 ] 邹年根, 罗伟祥, 李嘉钰, 等. 黄土高原造林学[ M ]. 北京: 中国林业出版社, 1997. 20—60
- [ 9 ] 孙时轩. 造林学[ M ]. 北京: 中国林业出版社, 1990.
- [ 10 ] 程积民, 万惠娥. 中国黄土高原植被建设与水土保持[ M ]. 北京: 中国林业出版社, 2002. 140—300
- [ 11 ] 马祥庆, 刘爱琴, 何智英, 等. 整地方式对杉木人工林生态系统的影响[ J ]. 山地学报, 2000, 18(3): 26—27.