

内蒙古臭柏不同分布区生长与生态因子的关联分析

孟 和¹, 姜真杰², 张国盛¹

(1. 内蒙古农业大学 林学院, 内蒙古 呼和浩特 010019; 2. 东华大学 信息科学与技术学院, 上海 200051)

摘要: 为了探讨臭柏 *Sabina vulgaris* 生长及其影响因素, 运用灰色系统理论中的关联分析法, 分析了内蒙古自治区主要天然分布区内臭柏生长与生态因子的关系。结果表明: ①内蒙古不同天然分布区内, 臭柏可在年平均气温为 $-5.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上, 极端最低气温 $-43.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上, 极端最高气温 $38.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下, 年平均降水量 180 mm 以上的干旱、半干旱地区生长; 各地区新梢平均年生长量为 $7.7\sim 14.6\text{ cm}$; ②根据关联分析, 各个生态因子对臭柏生长量的影响程度不同, 其影响大小顺序从大到小依次为 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温、年降水量、极端最高气温、极端最低气温、年蒸发量、海拔高度和年平均气温。因此, 在干旱区造林生产实践及臭柏引种推广过程中, 在关注年降水量的同时, 热量因子的影响不容忽视, 尤其是 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温对臭柏生长产生重要的影响。图 2 表 2 参 14

关键词: 森林生态学; 臭柏; 生长; 生态因子; 关联分析; 内蒙古

中图分类号: S718.43 文献标志码: A 文章编号: 1000-5692(2010)01-0051-06

Using the Grey System Theory for analysis of relationship between *Sabina vulgaris* growth and ecological factors

MENG He¹, JIANG Zhen-jie², ZHANG Guo-sheng¹

(1. College of Forestry, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010019, Inner Mongolia, China;

2. College of Information Science and Technology, Donghua University, Shanghai 200051, China)

Abstract: To study growth and influencing factors of *Sabina vulgaris*, habitat and growth conditions for regions of natural distribution in Inner Mongolia were surveyed, and the relationship between growth and ecological factors were analyzed with Grey System Theory. Results showed that (1) *S. vulgaris* could grow in arid and semiarid areas with an average annual temperature $> -5.0\text{ }^{\circ}\text{C}$, an extreme minimum temperature $> -43.0\text{ }^{\circ}\text{C}$, an extreme high temperature $< 38.6\text{ }^{\circ}\text{C}$, and an average annual rainfall $> 180\text{ mm}$. Also, the average annual shoot growth was between 7.7 and 14.6 cm . (2) According to Grey System Theory, the order of factors affecting *S. vulgaris* growth were: $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ accumulated temperature $>$ annual precipitation $>$ extreme maximum temperature $>$ extreme minimum temperature $>$ annual evaporation $>$ altitude $>$ average annual temperature. So for afforestation through introduction and dissemination of *S. vulgaris* in arid areas, annual precipitation should be considered, but the heat factor should not be ignored, especially the $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ accumulated temperature. [Ch, 2 fig, 2 tab. 14 ref.]

Key words: forest ecology; *Sabina vulgaris*; growth; ecological factors; Grey System Theory; Inner Mongolia

臭柏 *Sabina vulgaris* 系柏科 Cupressaceae 圆柏属 *Sabina* 常绿灌木, 主要分布于中国干旱半干旱地区, 在内蒙古自治区的沙地、山地有大面积成片天然林分布, 表现出极强的耐旱、耐寒和耐盐碱适应性。由于它在荒漠化防治及城镇园林绿化中发挥出巨大的生态效益和社会效益, 吸引了国内外众多学者展开多方面的研究^[1-5]。随着臭柏研究和产业开发的深入, 臭柏从内蒙古引种到中国北京、山东、

收稿日期: 2008-12-24; 修回日期: 2009-05-05

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30070639; 3060069; 30240033)

作者简介: 孟和, 副教授, 从事干旱区造林学研究。E-mail: NMMENGHE@163.com

浙江及日本的鸟取、冈山等地栽培。在各地引种栽培中,把生长量作为评价其生态适应性的主要指标之一,在臭柏生长与生态环境的关系研究方面,做了大量工作^[6-11]。灰色关联分析法具有整体性、非对称性、有序性、动态性及计算方法简单等优点,在多因子定量分析中取得了良好的成果^[12-13]。为了探讨臭柏生长及其影响因素,揭示其生态适应性,笔者通过对内蒙古不同地区臭柏的天然生长量与生态因子的调查,分析生长与生态因子间的关系,试图为臭柏的产业开发和引种造林提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 数据来源

在内蒙古自治区臭柏天然分布区内,实测臭柏的年生长量和分布区的平均海拔高度。气候因子的数据来自于臭柏天然分布区附近的气象站。

1.2 关联分析方法描述

运用灰色系统理论中的关联分析方法,通过数据的映射处理分析变量及其变化规律。用关联度来表示2个事物发展过程中的关联程度。设有参考数列 $\{X_0(t)\}$,比较数列 $\{X_i(t)\}$,其中 $i=1, 2, 3, \dots, m$; $t=1, 2, 3, \dots, n$,即:

$$\begin{aligned} \{X_0(t)\} &= \{X_0(1), X_0(2), X_0(3), \dots, X_0(n)\} \\ \{X_1(t)\} &= \{X_1(1), X_1(2), X_1(3), \dots, X_1(n)\} \\ \{X_2(t)\} &= \{X_2(1), X_2(2), X_2(3), \dots, X_2(n)\} \\ &\dots \\ \{X_m(t)\} &= \{X_m(1), X_m(2), X_m(3), \dots, X_m(n)\} \end{aligned}$$

记 t 时刻的 $X_i(t)$ 与 $X_0(t)$ 的关联系数为 $L_i(t)$,则:

$$L_i(t) = [\min \min \Delta_i(t) + K \cdot \max \max \Delta_i(t)] / [\Delta_i(t) + K \cdot \max \max \Delta_i(t)] \quad (1)$$

式(1)中: K 为分辨系数, K 的区间为 $[0, 1]$,文中取 $K = 0.5$ 。 $\min \min \Delta_i(t)$ 表示 $\{X_0(t)\}$ 与 $X_i(t)$ 各因素间的2级最小差的绝对值,即:

$$\min \min \Delta_i(t) = \min \min |X_0(t) - X_i(t)| \quad (2)$$

$\max \max \Delta_i(t)$ 表示 $\{X_0(t)\}$ 与 $X_i(t)$ 各因素间的2级最大差的绝对值,即:

$$\max \max \Delta_i(t) = \max \max |X_i(t) - X_0(t)| \quad (3)$$

$\Delta_i(t)$ 表示 $\{X_0(t)\}$ 与 $\{X_i(t)\}$ 各因素间的差的绝对值,即:

$$\Delta_i(t) = |X_i(t) - X_0(t)| \quad (4)$$

记第 t 时刻 $X_i(t)$ 与 $X_0(t)$ 的关联度为 R_i ,则:

$$R_i = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n L_i(t) \quad (5)$$

R_i 值越大,表示 $\{X_i(t)\}$ 与 $\{X_0(t)\}$ 之间的关系越紧密,也就是说, $\{X_i(t)\}$ 对 $\{X_0(t)\}$ 的影响越大。将 $\{X_i(t)\}$ 对 $\{X_0(t)\}$ 的关联度从大到小排列,就构成关联度序。

2 结果与分析

2.1 不同分布区臭柏的生长状况

在内蒙古,天然生长的臭柏由西至东主要分布在贺兰山、阿尔其山、达茂旗和毛乌素沙地境内的乌审旗、伊金霍洛旗,浑善达克沙地境内的阿巴嘎旗、白音锡勒和多伦县境内的蔡木山自然保护区。臭柏分布范围的地理位置为 $38^{\circ}05' \sim 43^{\circ}40' N$, $106^{\circ}04' \sim 116^{\circ}34' E$ 。不同分布区臭柏的新梢年生长量及其生态因子如表1所示。

从内蒙古自治区臭柏的分布来看,其主要分布于石质山地与沙地两大类生境中。实地调查表明,生长于毛乌素沙地和浑善达克沙地生境的臭柏群落外貌特征表现为生长健壮,植株较为高大,颜色较绿,群落群聚度高,多呈大块状分布,覆盖度大,平均在70%以上,少见单株分布;而生长于石质山坡的臭柏群落则明显地生长不良,植株矮小,叶色发黄,群落群聚度较差,多呈小块状分布,覆盖度

表 1 内蒙古臭柏天然分布区新梢年生长量与生态因子的原始数据数列

Table 1 Firsthand data of growth and ecological factors of *Sabina vulgaris* in Inner Mongolia

数据数列(X_j)	X_{11} 乌审旗	X_{12} 伊金霍洛旗	X_{13} 阿巴嘎旗	X_{14} 白音锡勒	X_{15} 蔡木山	X_{16} 蛮汉山	X_{17} 达茂旗	X_{18} 阿尔其山	X_{19} 贺兰山
X_{0j} 新梢年生长量/cm	14.6	13.3	11.4	10.9	9.6	14.2	7.7	8.1	9.7
X_{1j} 年平均气温/°C	7.3	6.2	0.7	- 0.2	1.6	2.0	3.0	3.7	- 4.8
X_{2j} 年降水量/mm	360.3	353.6	244.0	350.0	385.0	350.0	220.0	188.4	350.0
X_{3j} 年蒸发量/mm	2 176	2 388	2 000	2 100	1 748	1 900	2 700	2 650	2 000
X_{4j} 海拔高度/m	1 300	1 300	1 200	1 220	1 200	1 950	1 500	1 550	2 450
X_{5j} 极端最高气温/°C	36.4		38.6	32.9	36.1	36.0	38.6	34.3	25.2
X_{6j} 极端最低气温/°C	- 31.4		- 42.0	- 43.2	- 35.9	- 34.5	- 41.0	- 41.0	- 31.0
X_{7j} ≥ 10 °C积温/°C	2 890	2 850	2 200	2 100	2 400		2 298		1 578

说明：空白表示无此项数据。

多在 30% ~ 50%，有的植株呈单株生长状态。

臭柏群落的分布面积、新梢年生长量、平均冠幅、灌丛高度和覆盖度等指标的调查结果表明：不同分布区因其生境的不同而在生长特征上表现出明显的差异。毛乌素沙地乌审旗的臭柏灌丛分布面积最大，主要分布于图克乡、纳林河乡和黄陶勒盖乡等地，有直立型和匍匐型 2 种。年生长量为 10 ~ 24 cm，群落覆盖度为 70% ~ 90%，多集中连片，冠幅 5 m 以上，树冠投影面积最大者约 200 m²，灌丛中心的直立枝高度在 1.2 ~ 2.0 m，长势良好。伊金霍洛旗的臭柏主要分布于纳林塔乡的吉漫沟口，在沙地上臭柏连片分布，覆盖度约在 70% 左右，长势良好。灌丛高为 0.5 ~ 1.0 m，最高可达 1.5 m，新梢年生长量为 9 ~ 15 cm。伊金霍洛旗风大且频，风沙活动频繁，沙埋厚度有的达 0.5 m，但臭柏在这种环境下仍然能够旺盛生长，其他植被沙埋后会抑制其生长甚至死亡。这说明臭柏具有适应沙埋的机制。在浑善达克沙地，臭柏主要集中分布于阿巴嘎旗境内的洪格尔苏木和白音锡勒牧场以及多伦县境内的蔡木山自然保护区。在阿巴嘎旗境内，臭柏在沙地上集中连片分布，但多数为匍匐型，群落的覆盖度为 60% ~ 70%，长势较好，年生长量为 10 ~ 16 cm，灌丛高为 0.5 ~ 0.8 m。在白音锡勒牧场，臭柏呈零星小块状分布于滩地和丘间低地。灌丛面积较小，冠幅为 3 ~ 15 m 不等，覆盖度低，为 20% ~ 35%。新梢年生长量为 8 ~ 15 cm，灌丛平均高度为 0.5 m 左右。在蔡木山自然保护区，臭柏分布于沙丘的阳坡和沟谷，呈小块状分布，灌丛为匍匐状，新梢年生长量为 8 ~ 12 cm。蛮汉山的臭柏目前仅发现 1 株，与 1 株山杨 *Populus davidiana* 混生，但长势良好，冠幅为 5.5 m。该灌丛的平均生长量为 13 cm，灌丛高为 60.0 cm。达茂旗境内臭柏分布于石质山坡，面积较大，灌丛均生长在花岗变质岩缝隙中，沿缝隙蔓延生长，从山脚一直到山顶都有分布。灌丛呈小块状分布，生长中等，冠幅为 4 m 左右，覆盖度为 30% ~ 50%。新梢年生长量为 3 ~ 10 cm，灌丛高为 0.5 ~ 0.8 m。在乌拉特中旗阿尔其山保护区内，臭柏是分布较为广泛的代表性植物，集中分布于多石山坡，主干铺地平卧，顶端向上伸展，形成较稠密的匍匐灌丛。灌丛盖度在 40% 以上，平均冠幅为 5.2 m，平均高度为 0.5 m，最高达 1.3 m，年生长量为 5 ~ 10 cm。在贺兰山臭柏灌丛以鳞片状大面积分布，从山脚到山顶都有分布，灌丛面积都不大，冠幅为 4 ~ 8 m，灌丛覆盖度为 40% ~ 60%。新梢年生长量为 5 ~ 10 cm，灌丛高度在山坡上平均为 0.5 m，沟底则可达 1.5 m。

从上述不同分布区的生长状况看，臭柏可在年平均气温 - 5.0 °C 以上，极端最低气温 - 43.0 °C 以上，极端最高气温为 38.6 °C 的区域生长。从干湿程度的分布上来看，臭柏可在降水量为 180 mm 以上的干旱半干旱地区生长。而且随着年均温度和湿润程度的增加，臭柏群落的新梢生长量和扩展速度也增加，各分布区以毛乌素沙地生长量和覆盖度最大。从臭柏生长与生境的关系可将臭柏划分为 2 种生态类型，一种为山地生态型，一种为沙地生态型。前者以蛮汉山、阿尔其山、达茂旗和贺兰山为代表，后者则以毛乌素沙地和浑善达克沙地为典型。2 种生态型的臭柏群落在生长特性上存在差异。

2.2 年生长量与生态因子的关联分析

以各地的年生长量和生态因子的调查数据构成原始数据数列(表1)。 X_{ij} 数列的行表示臭柏分布区, $j = 1, 2, \dots, 9$, 分别表示乌审旗、伊金霍洛旗、阿巴嘎旗、白音锡勒、蔡木山、蛮汉山、达茂旗、阿尔其山和贺兰山; X_{ij} 数列的列表示测定项目, $i = 0, 1, 2, \dots, 7$, 分别表示新梢年生长量、年平均气温、年降水量、年蒸发量、海拔高度、极端最高气温、极端最低气温和 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温。以新梢年生长量为参考数列 $\{X_{0j}\}$, 以年平均气温、年降水量、年蒸发量、海拔高度、极端最高气温、极端最低气温和 $\geq 10^\circ\text{C}$ 的积温为比较数列 $\{X_{ij}\}$ ($i = 1, 2, \dots, 7$), 这样就构成8行9列的原始数据数列(表1)。

表1数据中, 由于参考数列 $\{X_{0j}\}$ 与比较数列 $\{X_{ij}\}$ 的单位不同, 为了便于比较, 首先要对原始数据进行无量纲化处理。本研究的原始数据经均值化处理后, 利用公式(1)~(5)计算 L_{ij} (表2)。

表2 关联系数数列

Table 2 Sequence of incidence coefficient

$\{L_{ij}\}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	R_i
$\{L_{1j}\}$	0.429 7	0.483 0	0.687 6	0.588 5	0.913 2	0.814 6	0.689 8	0.616 2	0.334 4	0.617 4
$\{L_{2j}\}$	0.909 3	0.960 1	0.865 3	0.923 4	0.818 4	0.911 5	0.989 6	0.921 5	0.856 9	0.906 2
$\{L_{3j}\}$	0.830 3	0.935 1	0.934 2	0.983 5	0.947 8	0.792 3	0.738 9	0.767 8	0.969 4	0.877 7
$\{L_{4j}\}$	0.772 1	0.817 6	0.868 3	0.893 6	0.942 0	1.000 0	0.838 6	0.849 1	0.674 1	0.850 6
$\{L_{5j}\}$	0.853 8	1.003 1	0.952 6	0.974 3	0.914 7	0.866 0	0.786 2	0.865 2	0.921 0	0.904 1
$\{L_{6j}\}$	0.765 0	1.003 1	0.947 0	0.908 4	0.960 9	0.813 3	0.793 1	0.816 4	0.980 5	0.887 5
$\{L_{7j}\}$	0.955 7	0.991 6	0.950 6	0.947 2	0.919 5	1.003 1	0.839 4	1.003 1	0.895 4	0.945 0

各生态因子的平均关联度 R_i 表示时, 则:

$$R_i = \frac{1}{9} \sum_{j=1}^9 L_{ij}$$

R_1, R_2, \dots, R_7 分别表示年平均气温、年降水量、年蒸发量、海拔高度、极端最高气温、极端最低气温和 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温与新梢年生长量关联度的平均值, 关联度序 $R_7 > R_2 > R_5 > R_6 > R_3 > R_4 > R_1$, 即生态因子对新梢年生长量的影响程度从大到小依次为 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温、年降水量、极端最高气温、极端最低气温、年蒸发量、海拔高度和年平均气温。

2.3 年生长量与各生态因子关系的单因素分析

年降水量、年蒸发量和海拔高度与生长量的关系如图1所示。新梢年生长量与年降水量呈正相关, 与年蒸发量呈负相关, 亦即生长量随降水量的增加、蒸发量的减小和土壤含水量的增加而增大。生长量随海拔高度的增加略有下降的趋势, 主要在于随着海拔增高气温下降所致。

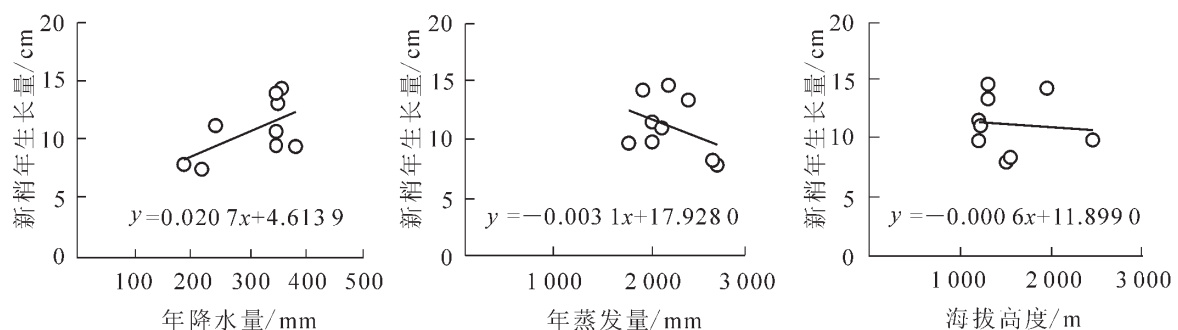


图1 年降水量、年蒸发量、海拔高度与生长量的关系

Figure 1 Relationships between precipitation, evaporation, elevation and growth

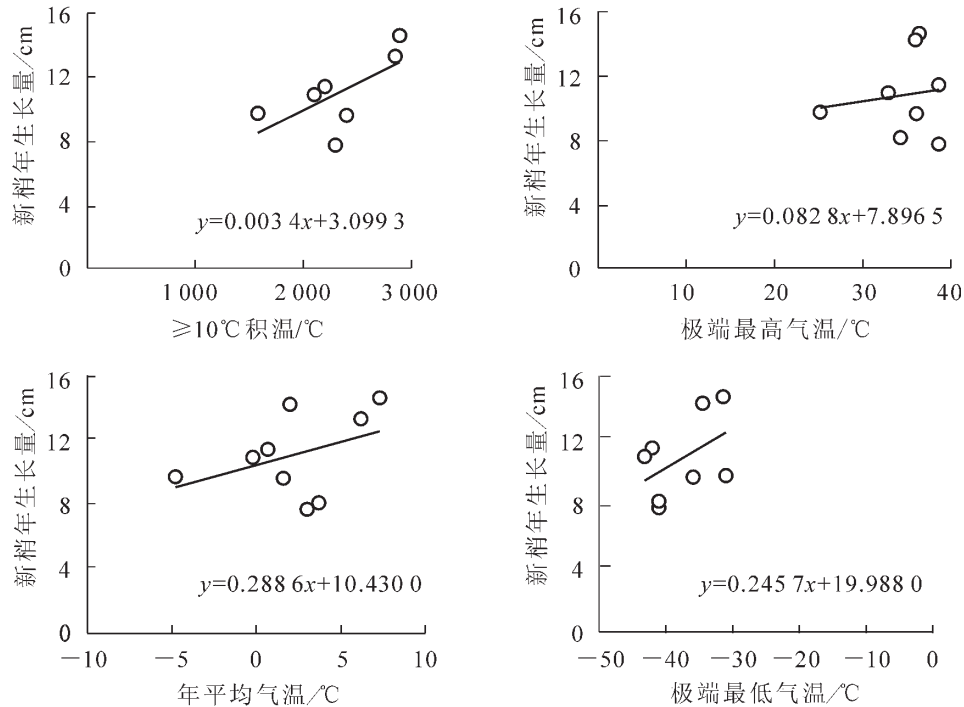


图 2 气温与生长量的关系

Figure 2 Relationships between air temperature and growth

新梢年生长量与气温的关系见图 2。 $\geq 10^\circ\text{C}$ 的积温、极端最高气温、极端最低气温和年平均气温与新梢年生长量均表现出正相关的趋势。高温不会成为内蒙古地区臭柏生长的限制因子。

3 讨论

内蒙古不同天然分布区内，臭柏可在年平均气温 -5.0°C 以上，极端最低气温 -43.0°C 以上，极端最高气温 38.6°C ，年平均降水量 180 mm 以上的干旱、半干旱地区生长。各地区的新梢平均年生长量为 $7.7\sim 14.6\text{ cm}$ ，其中毛乌素沙地最大，为 14.6 cm ，达茂旗最小，为 7.7 cm 。

根据关联分析，各生态因子均会影响臭柏的生长量，但影响的程度不同。各生态因子从大到小对生长量影响的顺序依次为 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温、年降水量、极端最高气温、极端最低气温、年蒸发量、海拔高度和年平均气温。其中，反映热量的 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温的影响居第 1 位，年降水量的影响居第 2 位，表明水热条件是主要的影响因素，这与实际相一致。

在各个生态因子与臭柏生长量的相关关系中，表示热量状况的 $\geq 10^\circ\text{C}$ 的积温、极端最高气温、极端最低气温和年平均气温与新梢年生长量均表现出正相关关系；表示水分状况的年降水量与新梢年生长量呈正相关，年蒸发量与新梢年生长量呈负相关。海拔高度与生长量关系的趋势直线较平缓。随海拔高度的增加，生长量略有下降。一般而言，随着海拔高度的升高，气温降低，热量减少。这也说明热量与臭柏生长的相关性。

在干旱区造林生产实践中，人们普遍最为关注水分条件。本研究结果表示反映热量的 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温的对臭柏生长量的影响大于年降水量。臭柏年轮宽度与气候因素的关系分析也表明气温变量比降水变量对生长的效果显著^[14]。因此，在臭柏引种造林推广过程中，热量因子的影响不容忽视，尤其是 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温对臭柏生长产生的重要影响。

参考文献：

- [1] 张国盛, 董智, 王林和. 臭柏生物生态学特性及生长繁殖研究的综述[J]. 内蒙古林学院学报: 自然科学版, 1997, 19(2): 69-75.

- ZHANG Guosheng, DONG Zhi, WANG Linhe. The researches review of the bioecology characteristic and the growth-reproduction of *Sabina vulgaris* [J]. *J Neimenggu For Coll Nat Sci*, 1997, **19** (2): 69 – 75.
- [2] 温国胜, 王林和, 吉川贤. 中国半乾燥地に生育する臭柏(*Sabina vulgaris*)の生理的特性と生態的特性[J]. 日本緑化工学会誌, 2002, **27** (3): 526 – 532.
- WEN Guosheng, WANG Linhe, YOSHIKAWA Ken. Physiological and ecological characteristics of *Sabina vulgaris* in semi-arid region of China [J]. *J Jpn Soc Revege Technol*, 2002, **27** (3): 526 – 532.
- [3] 温国胜, 张国盛, 张明如, 等. 干旱胁迫条件下臭柏的气孔蒸腾与角质层蒸腾 [J]. 浙江林学院学报, 2003, **20** (3): 268 – 272.
- WEN Guosheng, ZHANG Guosheng, ZHANG Mingru, *et al.* Stomatal transpiration and cuticular transpiration of *Sabina vulgaris* under drought stress [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2003, **20** (3): 268 – 272.
- [4] 温国胜, 王林和, 张国盛. 干旱胁迫条件下臭柏的气体交换与荧光特征[J]. 浙江林学院学报, 2004, **21** (4): 361 – 365.
- WEN Guosheng, WANG Linhe, ZHANG Guosheng. Gas exchanges and chlorophyll fluorescence characteristics of *Sabina vulgaris* under drought stress [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2004, **21** (4): 361 – 365.
- [5] 温国胜. 毛乌素沙地臭柏群落景观动态[J]. 浙江林学院学报, 2005, **22** (2): 129 – 132.
- WEN Guosheng. Dynamics of *Sabina vulgaris* phytocoenosis landscape in Maowusu Sandland [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2005, **22** (2): 129 – 132.
- [6] 李云章, 李春和, 王林和. 臭柏生长与更新特征初探[J]. 内蒙古林学院学报: 自然科学版, 1996, **18** (4): 1 – 5.
- LI Yunzhang, LI Chunhe, WANG Linhe. Preliminary study of growth and regeneration in *Sabina vulgaris* [J]. *J Neimenggu For Coll Nat Sci*, 1996, **18** (4): 1 – 5.
- [7] 王林和, 董智, 张国盛. 毛乌素沙地天然臭柏群落新梢生长规律的研究[J]. 内蒙古林学院学报: 自然科学版, 1998, **20** (3): 15 – 21.
- WANG Linhe, DONG Zhi, ZHANG Guosheng. Study on the fresh branches growth law of *Sabina vulgaris* natural population in Maowusu sands [J]. *J Neimenggu For Coll Nat Sci*, 1998, **20** (3): 15 – 21.
- [8] 温国胜, 冢子美和子, 坂本圭児, 他. 慢性的な水ストレス下での臭柏の生育経過[J]. 日本緑化工学会誌, 2000, **25** (3): 242 – 248.
- WEN Guosheng, ZUSHI M, SAKAMOTO K, *et al.* Study on growth of *Sabina vulgaris* under long term water stress [J]. *J Jpn Soc Revege Technol*, 2000, **25** (3): 242 – 248.
- [9] ZHANG Guosheng, LIU Haidong, LIU Meizhen, *et al.* Study on clonal growth pattern of *Sabina vulgaris* in MuUs Sandland [J]. *For Stud China*, 2003, **5** (2): 10 – 16.
- [10] 温国胜, 吉川贤, 张国盛, 等. 干旱胁迫条件下臭柏的生长[J]. 内蒙古农业大学学报: 自然科学版, 2004, **25** (1): 5 – 10.
- WEN Guosheng, YOSHIKAWA Ken, ZHANG Guosheng, *et al.* Growth of *Sabina vulgaris* Ant. under drought stress [J]. *J Inner Mongolia Agric Univ Nat Sci*, 2004, **25** (1): 5–10.
- [11] 温国胜, 张明如, 张国盛, 等. 干旱条件下臭柏的生理生态对策[J]. 生态学报, 2006, **26** (12): 4059 – 4065.
- WEN Guosheng, ZHANG Mingru, ZHANG Guosheng, *et al.* Ecophysiological strategy of *Sabina vulgaris* under drought stress [J]. *Acta Ecol Sin*, 2006, **26** (12): 4059 – 4065.
- [12] 刘贤谦, 师光禄. 应用灰色关联度分析关键因子的研究[J]. 林业科学, 1996, **32** (5): 447 – 453.
- LIU Xianqian, SHI Guanglu. The use of grey sequence for the identification of key factors from life table data of insects [J]. *Sci Silv Sin*, 1996, **32** (5): 447 – 453.
- [13] 温国胜, 王林和, 张国盛. 臭柏的光合速率与生态因子的关联分析[J]. 福建林学院学报, 2004, **24** (3): 206 – 210.
- WEN Guosheng, WANG Linhe, ZHANG Guosheng. The gray sequence of photosynthetic rate of *Sabina vulgaris* to ecological factors [J]. *J Fujian Coll For*, 2004, **24** (3): 206 – 210.
- [14] 黄荣凤, 张国盛, 王林和, 等. 影响毛乌素沙地臭柏年轮宽度变化的主要气候因子分析[J]. 干旱区资源与环境, 2004, **18** (6): 164 – 169.
- HUANG Rongfeng, ZHANG Guosheng, WANG Linhe, *et al.* Analysis on main climatic factors affecting ring-width variance of *Sabina vulgaris* grown in MuUs Sandland [J]. *J Arid Land Resour Environ*, 2004, **18** (6): 164 – 169.