

台湾栾木引种气候生态适生区分析

朱万泽^{1*}, 王金锡², 薛建辉³

(1. 中国科学院成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041; 2. 四川省林科院, 四川 成都 610081; 3. 南京林业大学, 江苏 南京 210037)

摘要: 选择了年平均温度、最冷月平均温度等 9 个影响台湾栾木(*Alnus formosana*)分布和生长的关键气候因子, 运用模糊相似优先比法, 探讨台湾栾木在我国的适生范围。结果表明, 台湾栾木气候生态适生区主要分布在长江流域及其以南的部分中亚热带、南亚热带和热带地区, 适宜区表现出明显的热带南亚热带性质, 次适宜区以中亚热带性质为主。适生区的气候特点是: 年均温度在 15℃ 以上, 极端最低温在 -10℃ 以上, 年降水量在 1 000 mm 以上, 一年中降水量 < 50 mm 的月份不超过 5 个月。适生区气象因子的主成分分析表明, 第一主成分温度因子(年均温、≥ 10℃ 积温、最冷月平均温和极端最低温)影响台湾栾木的成活和分布, 第二主成分和第三主成分(温度和降水)的综合作用影响台湾栾木的生长。四川和福建的引种实践表明, 本预测具有一定的实用价值。

关键词: 气候生态适生区; 模糊相似优先比法; 引种; 台湾栾木

中图分类号: S722.7

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395(2005)01-0059-06

Climatically and Ecologically Adaptive Regions for the Introduction of *Alnus formosana*

ZHU Wan-ze^{1*}, WANG Jin-xi², XUE Jian-hui³

(1. Institute of Mountain Hazard and Environment, CAS, Chengdu 610041, China;

2. Sichuan Forestry Academy, Chengdu 610081, China; 3. Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

Abstract: Based on nine climatic factors which affect the growth of *Alnus formosana*, the adaptive regions for introduction of the species were investigated using the fuzzy resemble priority ratio method (FRPR). The nine climatic factors are mean annual temperature, mean temperature of the coldest months, mean temperature of the hottest months, extreme minimum temperature, extreme maximum temperature, mean annual cumulative temperature ≥ 10℃, mean annual precipitation, the number of months with monthly precipitation < 50 mm in a year, and mean annual sunshine hours. The results show that the adaptive regions cover over 10 provinces along the Yangtze River and its southern areas. The most adaptive regions are in southern subtropical and tropical zones, and followed by middle subtropical zones. The conditions that suitable for the growth of *A. formosana* are: mean annual temperature above 15℃, extreme minimum temperature above -10℃, mean annual precipitation exceeds 1 000 mm, and the number of months with precipitation less than 50 mm not exceed 5 months. Climatic factor analysis indicates that the temperature is the first principal component affecting the survival and the distribution of this species, while comprehensive effects of temperature and precipitation are the second and third components which affect the growth of the plant.

Key words: Normal region; Fussy resemble priority ratio method (FRPR); Plant introduction; *Alnus formosana*

台湾栾木(*Alnus formosana*) 原产台湾省, 为桦木科栾木属落叶大乔木, 是台湾重要的先锋造林树

种^[1]。台湾栾木干形通直、高大, 这是区别于栾木属其它种的重要特征之一; 木材细软, 纹理直, 韧性

收稿日期: 2004-03-31 接受日期: 2004-07-12

基金项目: 国家林业局 948 项目(99-4-03)资助

* 通讯作者 Corresponding author

好,易于加工、成型,属二级木^[2]。台湾桫欏木在原产地分布较广,从平地到海拔 3 000 m 的高山均有自然分布,常在溪边、河谷、荒地、崩塌地形成纯林,为优良水土保持和水源涵养树种^[3,4]。台湾桫欏木为非豆科菌根树种,能与固氮菌共生,为造林上重要的培肥树种^[5]。它是阳性树种,适应性强,喜光、喜湿且耐湿、耐瘠薄,并具有一定的耐旱能力^[6],它生长快,4 a 生树高达 11 m,胸径达 12 cm^[6]。南非于 1982 年引种台湾桫欏木,在排水良好的湿润土地上,8 a 生的单株最高达 20 m,胸径达 27.8 cm,木材年生长量达 15 m³hm⁻²,其中 6–8 a 间,木材年生长量为 24 m³hm⁻²,生长表现良好,被认为是南非最有潜力的商用造林树种^[7]。我国福建南平等地也相继引种成功^[8,9]。本文根据树木引种气候相似理论^[10],在分析台湾桫欏木原产地气候适应性的基础上,应用模糊相似优先比法,对我国黄河以南,尤其是长江以南引种台湾桫欏木的气候生态适生区进行初步分析,并采用主成分分析法分析影响台湾桫欏木存活和生长的主要气候因子,旨在为各地科学开展台湾桫欏木引种栽培提供参考。

1 分布和生境条件

地理分布 在原产地,台湾桫欏木分布较为广泛,水平分布在北纬 21°51'–25°15',东经 120°–122°;垂直分布于海拔 250–3 000 m 的山区、平地、沟谷、溪边等,以海拔 1 000–2 000 m 分布为多。在地理位置上,以台湾北部和中部山区、中央山脉最多。台湾中部的濁水溪和大甲溪为台湾桫欏木天然分布丰富区。据廖天赐的调查,台湾桫欏木在低海拔地区以山谷或溪边为主,在中海拔地区则多分布在偏北坡向,而在海拔 2 000 m 以上则较不受限制^[11],反映出台湾桫欏木分布的温带性质。

气候 台湾桫欏木原产地台湾,主要受海洋气候的影响,属变性季风气候类型。热量资源较为丰富,除高山外,年均温度都在 21℃ 以上,最冷月平均温一般都在 10℃ 以上,最热月为 27–28℃,雨量充沛,年降雨量一般在 1 500 mm 以上,中央山地可达 4 000 mm 以上,雨季较长,有明显的干湿季;年均相对湿度 80% 以上,孕育了丰富的热带亚热带植物区系成分和植被类型。中部山地海拔较高,气候分带明显,因而具有多种不同的垂直带植被类型^[1]。

土壤 台湾桫欏木一般分布在山地黄壤、黄棕壤、棕壤、红壤灰化土和石质土等,成土母岩以第三纪发育的板岩为主。土壤偏酸性,交换性钙含量不

高,有机磷、钾含量较低,但有机质、含氮量及阳离子交换量较高,土层较浅薄,含砾较多。台湾桫欏木抗旱性不如耐湿性,故对土壤水分要求较高。据报道^[12],台湾桫欏木生长地土壤要求比较湿润,属需水量较高的树种。

2 研究方法

2.1 气候因子的选择

对引种地与原产地气候因素进行比较分析,是树木引种成功与否的首要工作。通常,气候条件中与林木生长、分布有关的主要有温度、水分条件等。具体表现在:林木生长发育要求一定的温度范围和温度持续期(温暖持续期或低温持续期),活动积温;以及降水量的多少和分布。为此,根据台湾桫欏木自然分布区和现有引种栽培成功地区的气候条件,选择了 9 个关键气候因子,即:年平均温度、最冷月平均温度、最热月平均温度、极端最低温、极端最高温、≥10℃ 年均积温、年均降水量、一年中月降水量 <50 mm 的月数和年均日照时数,作为台湾桫欏木气候生态适生范围研究的比较因素。

根据台湾桫欏木分布区的气候特征,本研究选择了黄河以南的四川、云南、重庆、贵州、广西、湖南、海南、江西、江苏、浙江、福建、上海、陕西、河南、安徽共 17 个省(市)进行台湾桫欏木气候生态适生范围分析。各省(市)气候站资料的选择,按照全面、详细、有代表性的原则,通常每个省(市)按东、南、西、北方位各选 1 个代表性的站,加上一个省会城市站,一般 5–6 个站,共选择了 17 个省(市)的 80 个气象站资料,固定样品采用台湾桫欏木自然分布区的台湾台北、台湾台中(南投和社)、台湾台中(大甲溪)3 个具代表性的气候资料。

2.2 统计分析方法

相似优先比的含义就是以成对的样品与一个固定的样品作比较,以确定哪一个样品与固定样品更相似,从而选择与固定样品相似程度较大者。本文选用欧氏距离相似优先比法^[13],分析过程如下:

设有一样品集合 $X, X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$; 每个样品具有 s 个因子,即:

$$X_i = \{X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{im}\} \quad (i=1, 2, \dots, n, n=80; s=1, 2, \dots, m, m=9)。$$

X_i, X_j 为其中任意两个样品,固定样品为 X_k 。

(1) 首先对原始数据作标准化处理,用公式:

$$X'_{is} = (X_{is} - X_{imin}) / (X_{imax} - X_{imin}) \quad (i=1, 2, \dots, 80;$$

$s=1, 2, \dots, 9)$

式中: X_{is} 为第 i 个气象站的第 s 个气象因子数据; $X_{i\max}, X_{i\min}$ 分别为第 s 个因子在样品中的极大值和极小值。当 $X_{is}=X_{i\max}$ 时, 则 $X'_{is}=1$; 当 $X_{is}=X_{i\min}$ 时, 则 $X'_{is}=0$, 于是 $X'_{is} \in [0, 1]$ 。

(2) 用相对欧氏距离计算被选样品 X_i 与固定样品 X_k 之间的差异, 用公式:

$$D_{ik} = \sqrt{\frac{1}{m}(X'_{is} - X'_{ks})^2}$$

(3) 计算相似优先比: $r_{ij}=D_{jk} / (D_{ik}+D_{jk})$ ($i \neq j$; $j \neq k$), $r_{ji}=1-r_{ij}$

另令 $r_{ii}=r_{jj}=0$, 于是求得模糊相似矩阵为: $R=[r_{ij}]_{nn}$

(4) 取 λ 水平截集评选出备选样品的相似次序。就矩阵 R 顺序由大而小地选取 λ 值, 以首先达到除对角线外全行为 1 的 λ 截矩阵所对应的站号和台湾固定样品最相似, 并记以序号 1, 然后删除该站影响, 亦即令矩阵中该行的所有元素为 0, 再降低 λ 值, 依次求取其它相似站号, 并分别记以序号 2、3、4 等。

将选取的 80 个气象站资料分别与固定样品台湾台北、台湾台中(南投和社)、台湾台中(大甲溪)气象资料进行相似优先比排序, 再得出各站综

表 1 台湾桫欏木引种气候生态适生区分析

Table 1 Climatically and ecologically adaptable regions for introducing *A. formosana*

适宜区 Normal regions	序号 No.	次适宜区 Less normal regions	序号 No.	不适宜区 Abnormal regions	序号 No.
云南思茅Simao, Yunnan	1	浙江鄞县Yinxian, Zhejiang	12	陕西安康Ankang, Shaanxi	31
广东广州Guangzhou, Guangdong	2	福建邵武Shaowu, Fujian	12	安徽霍山Huoshan, Anhui	32
广东德庆Deqing, Guangdong	2	广西北海Baihai, Guangxi	13	江苏高邮Gaoyou, Jiangsu	32
广西梧州Wuzhou, Guangxi	3	江西南昌Nanchang, Jiangxi	14	江苏盐城Yancheng, Jiangsu	33
福建福州Fuzhou, Fujian	3	湖北来凤Laifeng, Hubei	14	安徽合肥Hefei, Anhui	33
福建漳州Zhangzhou, Fujian	3	贵州贵阳Guiyang, Guizhou	14	安徽滁州Chuzhou, Anhui	34
福建南平Nanping, Fujian	4	湖南新化Xinhua, Hunan	15	河南西峡Xixia, Henan	34
广东韶关Shaoguan, Guangdong	4	江西宜春Yichun, Jiangxi	16	湖北郟阳Yunyang, Hubei	35
广东梅县Meixian, Guangdong	4	湖北宜昌Yichang, Hubei	16	江西庐山Lushan, Jiangxi	36
江西赣州Ganzhou, Jiangxi	5	广东湛江Zhanjiang, Guangdong	17	河南南阳Nanyang, Henan	37
广西南宁Nanning, Guangxi	5	海南海口Haikou, Hainan	17	陕西宝鸡Baoji, Shaanxi	37
浙江温州Wenzhou, Zhejiang	6	海南儋州Danzhou, Hainan	17	云南丽江Lijiang, Yunnan	38
广西河池Hechi, Guangxi	7	湖南零陵Lingling, Hunan	18	江苏连云港Lianyungang, Jiangsu	39
湖南芷江Zhijiang, Hunan	8	上海Shanghai	18	安徽宿县Shuxian, Anhui	39
广西隆林Longlin, Guangxi	8	重庆万县Wanxian, Chongqing	18	陕西西安Xi'an, Shaanxi	40
广西桂林Guilin, Guangxi	9	湖南长沙Changsha, Hunan	19	河南商丘Shangqiu, Henan	41
云南广南Guangnan, Yunnan	9	四川万源Wanyuan, Sichuan	19	河南郑州Zhenzhou, Henan	42
江西吉安Ji'an, Jiangxi	10	四川巴中Bazhong, Sichuan	19	河南信阳Xinyang, Henan	43
湖北恩施Enshi, Hubei	10	浙江衢县Quxian, Zhejiang	20	安徽黄山Huangshan, Anhui	44
湖南慈利Cili, Hunan	10	贵州罗甸Luodian, Guizhou	20	陕西延安Yan'an, Shaanxi	45
云南景洪Jinhong, Yunnan	11	浙江杭州Hangzhou, Zhejiang	21	陕西神木Shengmu, Shaanxi	46
		重庆酉阳Youyang, Chongqing	21	四川甘孜Ganzi, Sichuan	47
		贵州遵义Zhunyi, Guizhou	21	四川若尔盖Ruorgai, Sichuan	48
		江苏南通Nantong, Jiangsu	22		
		贵州赤水Chishui, Guizhou	22		
		四川南充Nanchong, Sichuan	23		
		贵州镇远Zhenyuan, Guizhou	23		
		湖北武汉Wuhan, Hubei	24		
		四川宜宾Yibin, Sichuan	24		
		四川西昌Xichang, Sichuan	25		
		重庆沙坪坝Shapingba, Chongqing	26		
		四川成都Chengdu, Sichuan	27		
		云南保山Baoshan, Yunnan	27		
		江苏南京Nanjing, Jiangsu	28		
		云南楚雄Chuxiong, Yunnan	29		
		云南昆明Kunming, Yunnan	30		

合排序。

3 结果和分析

3.1 气候生态适生区分析

台湾桫欏木引种气候生态适生区的模糊相似优先比排序结果见表 1。表中序号值大小基本反映了各站的综合气候生态条件与台湾固定样品的综合相似程度大小,序号越小,表示相似程度越高;序号越大,表示相似程度越低。综合气候生态条件与台湾桫欏木原产地相近的站排在前,差异越大的站排在越后。从表中还可看出,同一省内的各站相似程度也是有区别的。现将我国长江以南地区引种台湾桫欏木的气候生态适生区大致分析如下:

适宜区 其综合气候生态条件和台湾桫欏木原产地最为相似,可作为我国的重点引种栽培区域,在气候特点上,以热带、南亚热带性质为主,亦包括少数中亚热带性质。本区主要包括:

- (1) 华东地区:福建省大部(邵武除外)、浙江省南部、江西省南部(赣州、吉安);
- (2) 华中地区:湘西北山区、鄂西南山地(恩施一带);
- (3) 华南地区:广东省,广西大部;
- (4) 西南地区:云南西南部的思茅、景洪一带,云南东部文山州一带。

次适宜区 本区综合气候条件和台湾桫欏木

原产地比较相似,比较适合台湾桫欏木的引种,从气候条件来看,主要以中亚热带性质为主,亦有少数南亚热带和热带性质。

(1) 华东地区:上海,浙江中部及北部,闽北部,江西北部,江苏东南部;

(2) 华中地区:湖南大部,鄂西南山地、宜昌一带;

(3) 华南地区:海南省,广东西南,广西北海;

(4) 西南地区:云南中部,川南、川中、川东北、川西成都,重庆大部;

不适宜区 这些地区的综合气候生态条件与台湾桫欏木原产地差异较大,故划为台湾桫欏木引种的不适宜区。简单地说,除以上适宜区、次适宜区以外的区域都属于不适宜区。

3.2 适生区的气象因子分析

以模糊相似优先比法确定的台湾桫欏木气候生态适宜区和次适宜区的气象因子(年均温、最冷月平均温、最热月平均温、极端最低温、极端最高温、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温、年降水量、一年中月降水 $< 50\text{ mm}$ 的月份数和年日照时数),进行主成分分析(以累计贡献率 90%作为主成分入选标准)。从表 2 看出,第一主成分所表示的是温度的综合因子,特别是年均温、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温、最冷月平均温和极端最低温;第二主成分以最热月平均温特征向量为最大,其次为极端最高温和年降水量,一年中降水 $< 50\text{ mm}$ 月份数

表 2 台湾桫欏木适生区主要气象因子主成分分析

Table 2 Data obtained from principal component analysis of main climatic factors in regions adaptable for the growth of *A. formosana*

	第一主成分 First principal components	第二主成分 Second principal components	第三主成分 Third principal components	分量来源 Source of component
特征值 Eigenvalue (?)	4.2902	2.2455	1.4921	
累计贡献率 Accumulative contribution rate (%)	47.67	72.62	89.2	
特征向量 Eigenvector	0.4733	0.0153	0.1108	年均温 Annual mean temperature
	0.1327	0.5049	0.3906	最热月平均温 Mean temperature of hottest month
	0.4601	-0.1663	-0.0492	最冷月平均温 Mean temperature of coldest month
	0.4005	-0.2751	0.191	极端最低温 Extreme minimum temperature
	0.0384	0.3737	0.6003	极端最高温 Extreme maximum temperature
	0.4745	-0.3786	0.0446	$\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温 Accumulative temperature $\geq 10^{\circ}\text{C}$
	0.2088	0.2987	-0.5297	年降水量 Annual precipitation
	0.0299	-0.6053	0.2594	月降水 $< 50\text{ mm}$ 月数 Number of months with monthly precipitation $< 50\text{ mm}$
	0.0094	0.2115	-0.2933	年日照时数 Annual sunshine hours

是限制因子; 第三主成分中极端最高温因子的特征向量值为最大, 其次为最热月平均温和一年中降水 <50 mm 月份数, 限制因子为年降水量。分析表明, 第一主成分温度因子决定台湾桫木的成活, 第二主成分和第三主成分温度和降水的综合作用影响台湾桫木的生长。

3.3 台湾桫木引种实践

四川省乐山、广元、北川、宜宾于 2000 年开展台湾桫木引种, 3 a 生台湾桫木生长情况见表 3。从表 3 可以看出, 四川 4 地引种台湾桫木的树高和胸径生长均小于福建同安和南平。方差分析表明, 各引种地组内树高和胸径生长均无显著差异, 乐山市中区和福建同安、南平无显著差异; 四川北川(1)、四川北川(2)、广元元坝、宜宾屏山(1)和宜宾屏山(2)之间无显著差异, 但与福建同安、南平存在显著差异。根据本气候生态适生区预测, 福建来舟林场属台湾桫木引种适宜区, 而四川乐山、广元、北川、宜宾均为台湾桫木引种次适宜区, 乐山引种台湾桫木生长表现较好与其管理水平(人工施肥)有关, 表明本预测有较好的应用价值。广东省林业科学研究院在佛山市林科所引种的台湾桫木, 1 a 生苗高达 1.15 m, 而四川各地引种 1 a 生苗高大多在 1 m 以下。

4 讨论

生物气候预测分析是选择外来树种和确定引

种栽培范围的主要方法, 王豁然等^[14]曾对巨桫(*Eucalyptus grandis*), 陈红星等^[15]曾对日本甜柿(*Diospyros kaki*)在我国的气候生态适生范围进行过分析预测, 并将预测结果应用于引种实践, 取得了良好的效果。计算机技术的发展应用, 进一步提高了生物气候预测的精确性和可靠程度。预测的关键在于准确选择影响外来树种在新环境中正常生长发育的气候因子。许多学者指出, 极端最低温在生物气候预测分析中尤为重要^[14,15], 本文的研究结果亦证实了这一点。

台湾桫木在原产地分布很广, 海拔落差可达 2 500 mm 以上, 温差可达 10℃ 以上。但有一点很重要, 台湾桫木原产地无论是低海拔地区, 还是高海拔地区, 降水资源都较为丰富, 年降水量均在 1 500 mm 以上, 并且分布区内还有随着海拔的升高, 降水量增多的趋势, 在台湾中部地区中央山脉一些高海拔分布区年降水量可达 3 000 mm 以上, 表明台湾桫木生长对水分要求较高, 以及高海拔自然分布的温带特征。但由于长期适应台湾热带、亚热带海洋气候, 台湾桫木分布又表现出明显的热带、亚热带性质, 分布在热带、亚热带低海拔地区的台湾桫木首先要克服高温的影响, 其适应方式为叶片气孔导度提高, 且根、茎具有高水分导度, 以此维持较高的蒸腾速率, 从而降低叶片温度^[11]。

气候生态预测结果表明, 台湾桫木适生区主要分布在长江以南的部分中亚热带、南亚热带和热带地区, 这些地区气候的共同特点是: 年均温度在

表 3 台湾桫木引种 3 a 生树木生长情况比较
Table 3 The growth of 3-year-old *Alnus formosana* in different sites

地名 Sites	海拔 Altitude (m)	土壤类型 Soil type	土层厚度 Thickness of soil horizon (cm)	石砾含量 (%) Gravel content	测量株数 Plant number	平均树高 Plant height (m)	平均胸径 DBH (cm)
乐山市中区 Shizhongqu, Leshan	380	坡积紫色土 Purple soil	60	20	60	4.1	3.2
北川县曲山乡(1) Qushan, Beichuan (1)	780	山地黄壤 Yellow mountain soil	60	15	30	3.5	2.8
北川县曲山乡(2) Qushan, Beichuan (2)	780	山地黄壤 Yellow mountain soil	60	15	30	3.3	3.2
宜宾翠屏区(1) Cuipingqu, Yibing (1)	340	山地黄壤 Yellow mountain soil	50	10	32	2.58	1.5
宜宾翠屏区(2) Cuipingqu, Yibing (2)	340	山地黄壤 Yellow mountain soil	50	10	34	3.03	1.8
广元市元坝区 Yuanba, Guangyuan	580	山地黄壤 Yellow mountain soil	60	10	30	3.64	2.52
福建同安 Tong'an, Fujian	500	赤红壤 Latorred soil	60	3	30	4.2	3.3
福建南平 Nanping, Fujian	650	山地红壤 Red mountain soil	60	2	30	5.6	5.9

15℃以上,极端最低温在-10℃以上,年降水量在1 000 mm以上,每年月降水量<50 mm的月份不超过5个月,这些条件能基本满足台湾桤木的生长发育。四川和福建两地台湾桤木的引种实践表明,本预测具有一定的应用价值。在我国的温带和暖温带地区,温度和降水难以满足台湾桤木生长发育的要求,引种时应慎重考虑。同时,在台湾桤木气候适生区内,由于地形复杂,且各气象站所反映的气象因子有一定的局限性。因此在预测适生范围内营造大面积人工林之前,应进行必要的引种试验。除气候因素之外,还必须考虑海拔、地形和土壤条件等其它因子。

参考文献

- [1] Huang W L (黄威廉). Vegetation of Taiwan [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1993. 83-116.(in Chinese)
- [2] Wang H H, Lin S H. The fine structure of *Alnus formosana* [J]. Quart J Chin For (中华林学季刊), 1993, 26 (1):77-92. (in Chinese)
- [3] Lin X H(林信辉), Zhang J B(张俊兵). A study on vegetation characteristics across dilapidation land and its physiological response to middle dominant plants [J]. Chin J Soil Water Conser (中华水土保持学报), 1995, 26(1):1-6. (in Chinese)
- [4] Zhang J B(张俊兵), Lin X H(林信辉). A study on characteristics of root force for dominant plants across middle dilapidation land [J]. Chin J Soil Water Conser(中华水土保持学报), 1995, 26(4):235-244.(in Chinese)
- [5] Lee M Z (李明仁). Seasonal variation of actinorrhizal root nodule biomass and symbiotic nitrogen fixation in natural stands of formosana alder [J]. Quart J Chin For (中华林学季刊), 1986, 19 (3):13-23. (in Chinese)
- [6] Guo B Z(郭宝章). Guides to silviculture [M]. Taipei: National Compile Press, 1992. 466-476.(in Chinese)
- [7] Zwolinski J B, Donald D G M, Gerischer G F R. Characteristics and wood properties of *Alnus formosana* successfully introduced into South Africa [J]. South Africa For, 1992, 163:31-35.
- [8] Zhou G S(邹高顺). Research on silvicultural and nitrogen-fixing characteristics of *Alnus formosana* [J]. J Fujian Coll For (福建林学院学报), 1995, 15(2):112-117.(in Chinese)
- [9] Huang J B(黄家彬), Li Z Z(李志珍). Study on symbiotic nitrogen fixation of *Alnus formosana* [J]. J Fujian For Sci Techn(福建林业科技), 1991, 18 (4):25-28.(in Chinese)
- [10] Wang M J(王名金). Summary of Tree Introduction and Domestication [M]. Nanjing: Jiangsu Scientific and Technological Press, 1990.(in Chinese)
- [11] Liao T X (廖天赐). A basic study on ecophysiology of *Alnus formosana* [D]. Taipei: Plant Institute of Taiwan Zhongxing University, 1998. (in Chinese)
- [12] Hong F W(洪富文), Cheng W E(程炜儿), Chen Z F(陈正丰). Growth and related soil propertities of a 6-year old mixed plantation of Taiwan zelkova and alder [J]. Taiwan For Sci (台湾林业科学), 1996, 11(1):103-108.(in Chinese)
- [13] Huo Z X(贺仲雄). Fuzzy Math and Its Utilization [M]. Tianjing: Tianjing Scientific and Technological Press, 1983.(in Chinese)
- [14] Wang H R (王豁然), Yan H (阎洪), Zhou W L (周文龙). Provenance trials and prediction of suitable planting area based on bioclimatic analysis for *Eucalyptus grandis* in China [J]. For Res (林业科学研究), 1989, 2(5):411-419.(in Chinese)
- [15] Chen H X(陈红星), Wang J F(王劲凤), Gong B C(龚榜初), et al. A preliminary analysis of suitable ecological region for introducing Japanese sweet persimmon [J]. For Res(林业科学研究), 2000, 13 (3):323-327.(in Chinese)