

福建柏与马尾松混交造林模式的环境效应与生长分析

王青天

(安溪县林业局,福建 安溪 362400)

摘要:在杉木(*Cunninghamia lanceolata*)采伐迹地分别营建福建柏(*Fokienia hodginsii*)、马尾松(*Pinus massoniana*)混交林、纯林,经过13 a 经营管理,对不同林分的生长量、生物量、土壤理化性质等进行分析对比。结果显示,福建柏与马尾松混交能提高林分蓄积量、生物量、土壤肥力。13年生混交林的林分蓄积量,比福建柏、马尾松纯林分别提高14.01%和39.19%,林分总生物量分别提高 $14.20 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $33.57 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$;混交林土壤理化性状比纯林均有不同程度的改善,土壤肥力有所提高。

关键词:福建柏;马尾松;混交造林;环境效应;分析

中图分类号:S725.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2013)03-0126-05

Environmental Effects and Growth Analysis of the Mixed Forest Plantations
of *Fokienia hodginsii* and *Pinus massoniana*

WANG Qing-tian

(Anxi Forestry Bureau, Anxi, Fujian 362400, China)

Abstract:The mixed forests of *Pinus massoniana* and *Fokienia hodginsii*, as well as the pure ones were built respectively on the cutting blanks of *Cunninghamia lanceolata*. Comparative analysis on the growth increment, stand biomass and soil physico-chemical properties of different forest stands were carried out after 13-year management. The results showed that the mixed forest with *P. massoniana* and *F. hodginsii* could improve the stand volume, biomass, and soil fertility. The stand volume of mixed forest was higher than that of pure *P. massoniana* or *F. hodginsii* forest, accounting for 14.01% and 39.19%, respectively, while the total stand biomass increased by $14.20 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ and $33.57 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, respectively. The soil physico-chemical properties of mixed forest were also improved in different degrees, which enhanced the soil fertility.

Key words:*Fokienia hodginsii*; *Pinus massoniana*; mixed forest; environmental effect; analysis

福建柏(*Fokienia hodginsii*)是我国特有的珍稀树种,属国家二级保护植物,主根不明显,侧根发达,穿透力强,可在不同立地类型的林地生长,能改良土壤,生长迅速,主干通直圆满,树形美观,材质优良。马尾松(*Pinus massoniana*)是我国南方主要乡土用材树种,具有耐干旱贫瘠、产量高、材质好等优点。选择合适的树种进行混交造林,并采用相应的经营技术措施,可改变林地长期种植针叶纯林引起

的地方衰退^[1-3]。以探讨杉木低产林改造途径,提高经营的经济效益和生态效益^[4],1998年,安溪县林业局在城厢镇雅兴村观音山杉木低产林采伐迹地上开展了营建福建柏、马尾松混交林的试验^[5-7]。经过10 a 多的经营管理,林分生长状况良好,于2011年11月,对福建柏、马尾松混交林及纯林的生长状况、土壤肥力进行调查分析,为进一步推广福建柏、马尾松混交造林经营技术提供科学依据。

1 试验地概况

试验地设在福建省安溪县厢镇雅兴村观音山,位于 $118^{\circ}06'02''E, 25^{\circ}04'35''N$ 。属南亚热带海洋性季风型气候,一年四季分明,雨水充沛,气候暖和,年平均气温 $20^{\circ}C$,降雨量 1800 mm ,空气相对湿度82%左右,1月份平均气温 $14^{\circ}C$,极端低温 $1^{\circ}C$,7月份平均气温 $29^{\circ}C$,极端高温 $38^{\circ}C$ 。全年 $\geq 10^{\circ}C$ 活动积温 $7000^{\circ}C$,无霜期348 d。造林地属杉木采伐迹地,海拔 $262\sim 361\text{ m}$,坡位中,坡向西南,坡度 21° 。土壤为红壤,土层腐殖质层薄,肥力差,pH值 $4.7\sim 5.2$ 。植被为桃金娘(*Rhodomyrtus tomentosa*)、白茅(*Imperata cylindrica*)、芒萁骨(*Dicranopteris dichotoma*)、东方乌毛蕨(*Blechnum orientale*)等,高度 $60\sim 100\text{ cm}$,属Ⅲ类立地级。

2 材料与方法

2.1 规划设计

1997年10月,对拟改造的杉木低产林采伐迹地进行规划设计,试验面积 20 hm^2 。根据地形走向,规划3个试验区,分别种植福建柏马尾松混交林(A)、福建柏纯林(B)和马尾松纯林(C)。林地均采用块状整地造林,株行距 $2\text{ m} \times 2\text{ m}$,穴规格 $50\text{ cm} \times 40\text{ cm} \times 30\text{ cm}$ 。整地采用挖明穴回表土,每个穴并施 0.5 kg 的过磷酸钙,与穴中土壤搅拌均匀。其中混交林采用1:1行间混交造林方式。

2.2 造林及经营管理

2.2.1 苗木造林 1998年春季造林,苗木为1年生的裸根苗木,自育。苗木规格符合国家有关规定标准,福建柏裸根苗地径平均粗 0.32 cm 、苗高平均 38 cm ,马尾松裸根苗地径平均粗 0.35 cm 、苗平均高 42 cm 。为提高造林苗木的成活率,造林时苗木根系蘸黄泥浆栽植。

2.2.2 经营管理 造林后,在每年5—6月份、8—9月份各抚育1次,连续抚育除草、松土3 a。结合抚育每株施 0.1 kg 尿素和 0.1 kg 复合肥。造林后林分林木生长良好,枝叶茂密。树木生长到8 a后,由于林分郁闭度过大,林内透光性较差,林木间生长竞争激烈,造成林木生长小^[8],致使一些树木被压而生长不良。为提高林分生长量,改善林分结构,促进林木生长,早日成材,达到速生丰产的目的,于2008年即林龄10 a时进行1次下层抚育间伐。各树种的间伐比例,按福建省森林抚育间伐技术规定,间伐株数为26%~30%,保留株数为70%~74%。林分具体指标见表1。

表1 各试验区抚育强度及保留株数

Table 1 Thinning intensity and retaining trees of the experimental areas

林分类型		造林面积 / hm^2	初植密度 /(株· hm^{-2})	郁闭度	间伐强 (按株计)/%	间伐株数 /(株· hm^{-2})	保留株 /(株· hm^{-2})	林内温度 /°C	林内湿度 /%
混交林 A	福建柏	3.3	1 250	0.98	28	325	900	18.8	82.0
	马尾松	3.3	1 250	1.00	30	371	867	18.6	82.0
	合计/平均	3.3	2 500	0.99	29	696	1 767	18.7	82.0
纯林 B	福建柏	3.3	2 500	0.96	26	637	1 813	19.0	81.0
纯林 C	马尾松	3.3	2 500	0.97	28	693	1 782	19.0	80.0

2.3 外业调查及室内分析

2.3.1 林分生长量调查 2010年12月,在调查区内,选择典型地段,分别在混交林及纯林的林分内,按林木生长级分为好、中、差,各设置 $25.8\text{ m} \times 25.8\text{ m}$ 的临时样地3个(每种林分3个),对每样地进行每木检尺,测定树高、胸径、树冠、枝下高等生长指标。按福建省林木二元材积公式计算每个树种平均木单株材积,再按各树种平均木单株材积乘以相应树种的单位面积株数,计算各林分单位面积蓄积量。二元材积计算公式为:

$$V_{\text{柏}} = 0.000\ 058\ 1 D^{1.955\ 335\ 1} H^{0.894\ 033\ 04} \quad (1)$$

$$V_{\text{荷}} = 0.000\ 052\ 76 D^{1.882\ 161} H^{1.009\ 317} \quad (2)$$

$$\text{林分蓄积} = \text{单株材积} \times \text{林分保留密度} \quad (3)$$

2.3.2 林分温湿度观测 2008年10月27日11:00~14:00对温、湿度观测。在林分的临时标准地

内及林外(对照)随机各选择2个观测点,测定气温、湿度等小气候因子(表1)。

2.3.3 林分生物量调查 在各林分生长量调查的基础上,每种林分每树种分别选取标准木3~5株伐倒,按Monsi分层切割法,分别测定地上的干(含皮)、枝、叶及地下根系的鲜重,地下部分生物量采用全挖法分根桩、粗根($D > 4\text{ mm}$)、细根^[9]($D < 4\text{ mm}$)称重。同时,采集各组分样品300~500 g带回室内烘干,测定其含水量,计算各组分干重(生物量),计算各类型林分单位面积生物量。

2.3.4 土壤采样与分析 在各林分样地中,挖掘典型土壤剖面,做土壤剖面性状调查;每样地按“S”形路线多点(5~6点),按照“林业调查技术手册”分别采集 $0\sim 20\text{ cm}$ 、 $20\sim 40\text{ cm}$ 土层的混合土样做养分化学分析,并用 100 cm^3 的“环刀法”采集 $0\sim 20\text{ cm}$

cm、20~40 cm 的原状土带回室内土做水分物理性状测定;土壤化学性质的分析按国标分析方法测定。

3 结果与分析

3.1 不同林分林木生长量分析

不同林分生长状况的统计结果(表 2)可以看出,13 年生的福建柏马尾松混交林(A)的两树种的

平均树高分别比福建柏纯林(B)、马尾松纯林(C)的树高分别提高 11.09%、5.57%,胸径分别增粗 5.01%、15.67%,树冠^[8]分别增加 14.62%、5.83%,枝下高分别增加 30.23%、20.00%,单株材积分别增加 16.67%、40.00%,混交林分蓄积量分别比纯林(B,C)提高 14.01%、39.19%。

表 2 福建柏马尾松混交林及其纯林生长状况比较

Table 2 Comparison of growth between pure forest and mixed forest

林分类型		现存密度 /(株·hm ⁻²)	平均树高 /m	平均胸径 /cm	平均幅冠 /m	枝下高 /m	单株材积 /m ³	蓄积量 /m ³
混交林 A	福建柏	900	10.21	13.82	3.18	1.01	0.08	72.00
	马尾松	867	11.02	12.16	3.72	1.20	0.06	52.02
	小计/平均	1 767	10.62	12.99	3.45	1.12	0.07	124.02
纯林 B	福建柏	1 813	9.56	12.37	3.01	0.86	0.06	108.78
纯林 C	马尾松	1 782	10.06	11.23	3.26	1.00	0.05	89.10

3.2 不同林分温湿度分析

福建柏与马尾松混交林,林冠分布层次和互相嵌镶比纯林好,阳光直射林地减少,在高温季节可降低林内气温,提高空气湿度,减少地面蒸发。林内小气候特征调查显示,混交林(A)的林分内平均温度比纯林(B,C)的林分内平均温度分别下降 0.2°C 和 0.4°C,降低 1.24%~2.50%。而相对湿度则比纯林(B,C)分别提高 0.5% 和 0.3%。可见,福建柏与马尾松混交可改善林内的环境温度和相对湿度,有助于促进林木生长,加快林分郁闭。

3.3 不同林分生物量比较分析

林分生物量是由地上部分干、枝、叶和地下部分根桩、粗根、细根组成。不同林分生物量测定结果显示(表 3),混交林 A 林分总生物量要高于纯林 B、C 林分总生物量,分别增加 33.57 t·hm⁻² 和 14.20 t·hm⁻²,其中地上生物量分别增加 29.09 t·hm⁻² 和 11.96 t·hm⁻²,地下生物量分别增加 4.48 t·

hm⁻² 和 2.18 t·hm⁻²。可见,福建柏生长树冠属塔型,马尾松生长树冠属伞型,马尾松生长树高比福建柏高大,冠幅也比福建柏宽大。福建柏冠幅比马尾松低,马尾松树冠幅比福建柏高,2 树种混交林 A 树冠幅形成复层次,冠幅枝叶茂密,叶子形成镶嵌分布。尤其混交林 A 利用光照条件,更能促进林木枝叶生长,提高叶面指数,促使枝繁叶茂,增加地上部分生物量。福建柏浅根性树种与马尾松深根性树种混交,更能够促进 2 树种地下根系发达,主根粗、侧根大、细根多,增加地下部分根系生物量。而福建柏纯林生长树冠枝短叶细,马尾松纯林生长树冠枝叶稀疏,2 树种纯林 B、C 地上部分生长枝短叶少,地上部生物量较少。地下部分福建柏纯林生长根系浅薄,马尾松纯林生长根系细小,2 树种纯林 B、C 生长各根系也较少。所以纯林 B、C 的生物量比混交林 A 的生物量少,且混交林 A 的生物量较多^[10-11]。

表 3 不同林分生物量比较

Table 3 Comparison of growth increment with different forest stands

林分类型		地上部分/(t·hm ⁻²)				地下部分/(t·hm ⁻²)				总生物量 /(t·hm ⁻²)
		干	枝	叶	合计	根桩	粗根	细根	合计	
混交林 A	福建柏	32.40	13.96	4.86	51.22	4.28	2.72	1.12	8.12	59.34
	马尾松	31.20	18.72	5.34	55.26	4.90	2.64	1.08	8.62	63.88
	小计	63.60	32.68	10.20	106.48	9.18	5.36	2.20	16.74	123.22
纯林 B	福建柏	48.95	21.10	7.34	77.39	6.46	4.11	1.69	12.26	89.65
纯林 C	马尾松	53.40	32.04	9.08	94.52	8.38	4.52	1.60	14.50	109.02

3.4 不同林分土壤肥力比较分析

3.4.1 不同林分土壤化学性质分析 土壤是林木生长的基础,表层土壤是保护林地土壤肥力最主要的作用层。土壤的肥沃和贫瘠,直接影响林木的生长发育。土壤化学性质测定结果(表 4)显示,与纯林林分 B 和 C 相比,混交林 A 的土壤 pH 值、有机

质含量、全 N、全 P、全 K 以及速效 N、P、K 等化学性质指标均有不同程度的提高。以土层 0~20 cm 为例,与纯林林分 B 和 C 相比,混交林 A 林分的土壤 pH 值分别提高 1.96% 和 4.00%,有机质分别提高 2.89% 和 3.73%,土壤养分全 N、全 P、全 K 含量 B 分别增加 0.98%、1.49%、0.98%,C 分别增加

3.00%、4.62%、2.14%;其速效N、P、K成分含量B分别提高2.00%、2.50%、3.67%,C分别提高

4.08%、4.92%、9.71%。营造混交林能改良土壤,维持和提高地力,有助于提高土壤肥力^[12-13]。

表4 不同林分土壤化学性质的比较

Table 4 Comparison of soil chemical properties with different forest stands

林分类型		取样深度/cm	pH值	养分全量含量/%			速效含量/(mg·kg ⁻¹)			有机质/%
				N	P	K	N	P	K	
混交林 A	福建柏	0~20	5.2	1.03	0.68	6.21	102	5.33	113	35.28
	马尾松	20~40	5.1	0.99	0.65	6.09	100	5.19	109	34.76
	平均		5.2	1.01	0.67	6.15	101	5.26	111	35.02
纯林 B	福建柏	0~20	5.1	1.02	0.67	6.15	100	5.20	109	34.29
		20~40	4.9	0.98	0.64	6.00	98	5.11	105	33.76
	平均		5.0	1.00	0.66	6.08	99	5.16	107	34.03
纯林 C	马尾松	0~20	5.0	1.00	0.65	6.08	98	5.08	103	34.00
		20~40	4.7	0.96	0.63	5.90	96	5.01	100	33.42
	平均		4.9	0.98	0.64	5.99	97	5.05	102	33.72

3.4.2 不同土壤物理性状分析 混交林分A与纯林林分B、C的土壤物理性质测定结果显示(表5),不论是0~20 cm还是0~40 m土层,混交林分A的各项物理性状均优于纯林林分B和C。以0~20 cm土层为例,混交林分A的土壤容重比纯林林分B和C分别减少了0.92%和1.83%,而通气度分别提高了0.87%和3.12%,最大持水量分别提高了

1.87%和2.86%,毛管持水量分别提高了1.45%和4.42%,田间持水量分别提高了0.54%和1.67%,毛管孔隙度分别提高了0.54%和2.55%,非毛管孔隙度分别提高了3.57%和3.87%,总孔隙度分别提高了0.95%和2.68%。土壤孔隙度能反映土壤的持水量,混交林林地地表层比纯林涵养水源能力更强,能更好地保持林地水土^[14-16]。

表5 福建柏马尾松混交林、纯林土壤物理性质的比较

Table 5 Comparison of soil physical properties with pure forest and mixed forest

林分类型		取样深度/cm	容重	最大持水量	毛管持水量	田间持水量	毛管孔隙度	非毛管孔隙度/%	总孔隙度/%	通气度/%
			/cm	/(g·cm ⁻³)	%	/%	/(t·hm ⁻²)	/%	孔隙度/%	/%
混交林 A	福建柏	0~20	1.09	47.98	41.33	35.33	45.05	7.25	52.30	18.50
	马尾松	20~40	1.11	46.71	40.33	35.27	44.77	7.08	51.85	18.40
	平均		1.10	47.35	40.83	35.55	44.91	7.17	52.08	18.45
纯林 B	福建柏	0~20	1.10	47.10	40.74	35.14	44.81	7.00	51.81	18.34
		20~40	1.13	45.36	39.26	35.07	44.36	6.89	51.25	18.28
	平均		1.12	46.23	40.00	35.11	44.59	6.95	51.53	18.30
纯林 C	马尾松	0~20	1.11	45.87	39.58	34.75	43.93	6.98	50.91	17.94
		20~40	1.14	44.37	38.46	34.59	43.44	6.74	50.18	17.77
	平均		1.13	45.12	39.02	34.67	43.69	6.86	50.55	17.86

4 结论与讨论

福建柏与马尾松混交其生长状况要优于福建柏纯林和马尾松纯林,且混交林的土壤理化性质均明显好于纯林,2树种混交能相互促进生长,提高林分生长量,增加林木蓄积量,能改善土壤理化性质,有助于林分生态效益的发挥。

福建省闽南地区山地较瘠薄,普遍营造杉、松纯林,树种单一,林分结构简单,林木生长不良,造成林地地力衰退,林分生产力下降;而营造福建柏、马尾松乡土树种混交林,则能改善林地土壤结构,提高土壤养分含量,增加土壤肥力,促进林木生长,提高林分生长量,增加林木蓄积量,福建柏、马尾松混交造林模式值得试验推广。

参考文献:

- [1] 方奇.杉木连栽对土壤肥力及其林木生长的影响[J].林业科学,1987,23(4):389-397.
FANG Q. Effects of continued plating of chinese fir on the fertility of soil and the growth of stands[J]. Scientia Silvae Sinicae,1987,23(4):389-397. (in Chinese)
- [2] 盛炜彤,薛秀康.福建柏、杉木及其混交林生产与生态效应研究[J].林业科学,1992,28(5):397-404.
SHENG W T, XUE X K. Comparisons between pure stands of Chinese fir, Fukine cypress and mixed stands of these two species in growth, structure, biomass and ecological effects[J]. Scientia Silvae Sinicae,1992,28(5):397-404. (in Chinese)
- [3] 俞新妥,叶功富.混交造林与人工林的持续速生丰产[J].福建林学院学报,1992,12(3):322-326.
YU XINTO, YE GONGFU. Mixed forest planting and continuous fast growth and high yield of artificial forest[J]. Journal of Fujian Forestry College,1992,12(3):322-326.
- [4] 吕福如.马尾松低产林套种福建柏的效应[J].林业科技开发,2002,16(5):18-20.
LU FUZHU. Effect of intercropping Chinese fir in low-yield Pinus massoniana plantation[J]. Forestry Science and Technology Development,2002,16(5):18-20.
- [5] 王青天,余婉芳,陈进宝,等.福建柏任豆混交造林技术研究

- [J]. 林业实用技术, 2004, 29(5): 11-12.
- [6] 王青天. 闽南山地杉木马尾松、木荷混交林培育效果研究[J]. 福建林学院学报, 2012, 32(4): 321-325.
WANG Q T. Study on the growth effect of mixed forest with *Cunninghamia lanceolata*, *Pinus massoniana* and *Schima superba* in mountainous region of south Fujian[J]. Journal of Fujian College of Forestry, 2012, 32(4): 321-325. (in Chinese)
- [7] 王青天. 马尾松纯林改造成混交林效果评价[J]. 中南林业科技大学学报: 社会科学版, 2012, 32(12): 162-166.
WANG Q T. Evaluation on the effect of *Pinus massoniana* plantations transferred into mixed forests[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology: Social Sciences, 2012, 32(12): 162-166. (in Chinese)
- [8] 张丽楠, 王得祥, 紫宗政, 等. 陕西省宁东林业局华北落叶松人工林胸径分布规律研究[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科技版, 2012, 40(10): 57-63.
ZHANG L N, WANG D X, CHAI Z Z, et al. Study on diameter structure of *Larix principis rupprechtii* plantation of Ningdong forestry bureau in Shaanxi Province[J]. Journal of Northwest A&F University: Social Science Edition, 2012, 40(10): 57-63. (in Chinese)
- [9] 杨玉盛, 陈光水、何宗明, 等, 杉木、观光木混交林群落细根净生产力及周转[J]. 林业科学, 2001, 37(1): 35-41.
YANG Y S, CHEN G S, HE Z M, et al. Net productivity and turnover rate of fine roots in mixed forest of *Cunninghamia lanceolata* and *Tsoungiodendron odoratum* [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2001, 37(1): 35-41. (in Chinese)
- [10] 广西林科所混交林课题组. 马尾松、红椎混交林冠结构的研究[J]. 广西林业科技, 1992, 21(1): 11-16.
- [11] 董林水, 陈礼光、郑有善, 等. 木荷、马尾松混交林生物量与生产力的研究[J]. 江西农业大学学报, 2001, 23(2): 244-247.
DONG L S, CHEN L G, ZHENG Y S, et al. A study on the biomass and productivity of mixed plantations of *Schima su-*
perba and *Pinus massoniana* [J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2001, 23(2): 244-247. (in Chinese)
- [12] 张鼎华, 叶章发, 林宝福. 杉木马尾松轮作对林地土壤肥力和林木生长的影响[J]. 林业科学, 2001, 37(5): 10-15.
ZHANG D H, YE Z F, LIN B F. The effects of rotating plantation on the soil fertility of forest land and the growth of stand[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2001, 37(5): 10-15. (in Chinese)
- [13] 曹汉洋, 杉木、马尾松、木荷纯林及其混交林的土壤养分状况[J]. 南京林业大学学报, 1998, 22(2): 45-48.
CAO H Y. Research on nutrient status of pure Chinese fir, masson pine, *Schima superba* and mixed forests[J]. Journal of Nanjing Forestry University, 1998, 22(2): 45-48. (in Chinese)
- [14] 李海防, 王金叶、刘兴伟, 等. 广西猫儿山主要林型水源涵养功能研究[J]. 西北林学院学报, 2012, 27(1): 50-53.
LI H F, WANG J Y, LIU X W, et al. Evaluation on water conservation function of typical forest ecosystems in Maoer Mountian [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2012, 27(1): 50-53. (in Chinese)
- [15] 孟玉珂, 刘小林、袁一超, 等, 小陇山林区主要林分凋落物水文效应[J]. 西北林学院学报, 2012, 27(6): 48-51.
MENG Y K, LIU X L, YUAN Y C, et al. Hydrological effect of litter layers of the main forest types in Xiaolongshan Forest Region[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2012, 27(6): 48-51. (in Chinese)
- [16] 张君玉, 程金花, 张洪江, 等. 晋西黄土丘陵区3个树种人工林枯落物的持水特性[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2012, 40(10): 69-74.
ZHANG J Y, CHENG J H, ZHANG H J, et al. Reserves and water capacity characteristics of three kinds of litter in loess hilly region of West Shanxi Province[J]. Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition, 2012, 40(10): 69-74. (in Chinese)

(上接第 78 页)

- [10] KNICK S T, ROTENBERRY J T. Landscape characteristics of disturbed shrub steppe habitats in south-western Idaho (USA) [J]. Landscape Ecology, 2000, 15(5): 287-297.
- [11] KEPNER W G, WATTS C J, EDMONDS C M, et al. A landscape approach for detecting and evaluating change in a semi-arid environment [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2000, 64(1): 179-195.
- [12] 覃风飞, 安树青, 卓元午, 等. 景观破碎化对植物种群的影响[J]. 生态学杂志, 2003, 22(3): 43-48.
TAN F F, AN S Q, ZHUO Y W, et al. Effect of landscape fragmentation on plant populations[J]. Chinese Journal of Ecology, 2003, 22(3): 43-48. (in Chinese)
- [13] 张建昌, 冯武焕, 刘宏, 等. 勉一宁高速公路生态恢复中的土壤肥力恢复研究[J]. 西北林学院学报, 2007, 22(1): 43-46.
ZHANG J C, FENG W H, LIU H, et al. Research on the soil recovery in ecology recovery along the highway from Mian County to Ningqiang[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2007, 22(1): 43-46. (in Chinese)
- [14] 马克平. 生物群落多样性的测度方法 I_a 多样性的测度方法(上)[J]. 生物多样性, 1994, 2(3): 162-168.
- [15] 马克平, 黄建辉, 于顺利, 等. 北京东灵山地区植物群落多样性的研究 II: 丰富度、均匀度和物种多样性指数[J]. 生态学报, 1995, 15(3): 268-277.
MA K P, HUANG J H, YU S L, et al. Plant community diversity in Dongling Mountain, Beijing, China: II. species richness, evenness and species diversities[J]. Acta Ecologica Sinica, 1995, 15(3): 268-277. (in Chinese)
- [16] 陈灵芝. 中国的生物多样性[M]. 北京: 科学出版社, 1993.
- [17] 陈灵芝, 陈伟烈. 中国退化生态系统研究[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1995: 94-113.