

# 济南奥体中心破碎山体生态恢复植被的响应过程研究

张亮<sup>1</sup>,刘建军<sup>1\*</sup>,张景群<sup>1</sup>,樊建修<sup>2</sup>,陈先强<sup>2</sup>

(1. 西北农林科技大学 林学院,陕西 杨陵 712100;2. 陕西红叶园林绿化设计工程集团有限公司,陕西 西安 710054)

**摘要:**济南奥体中心的建设使得原地区的地表结构、风貌特征及生态环境发生改变,导致山体和生态景观系统破碎化,对区域环境景观、水土保持、生态稳定性产生了极大的负面影响。从喷播造林种类的初始出苗率、种子发芽深度、成苗率、喷播种生长情况、盖度以及自然种侵入情况等6种指标对该项目生态恢复的植被响应过程进行研究。经过3 a 的群落演替过程,群落从最初以草本植物狗牙根、黑麦草为主,演进到2011年形成了草本植物以野黄菊为优势种,木本植物以刺槐为优势种的乔、灌、草、花复层植物群落,坡面植物组成由10种变为16种,植被总盖度达到了99.0%。

**关键词:**生态恢复;破碎山体;植被混凝土;群落特征

**中图分类号:**S718.5      **文献标志码:**A      **文章编号:**1001-7461(2013)03-0074-05

## Vegetation Response Process of Ecological Restoration of Crushed Mountain in Jinan Olympic Sports Center

ZHANG Liang<sup>1</sup>, LIU Jian-jun<sup>1\*</sup>, ZHANG Jing-qun<sup>1</sup>, FAN Jian-xiu<sup>2</sup>, CHEN Xian-qiang<sup>2</sup>

(1. College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Shaanxihongye Garden Art Design&Construction Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi 710054, China)

**Abstract:** The construction of Jinan Olympic Sports Centre has caused great changes in original site from the aspects of surface structure, geomorphological style, and the ecological environment, resulting in the fragmentations of the mountain and ecological landscape. Negative impacts have been formed on the regional environmental landscape, soil and water conservation, and ecological stability. This paper attempted to analyze vegetation response process of ecological restoration by six kinds of indicators, such as initial rate of emergence, seeding species, germination depth, rate of seedling, spray seeding growth situation, covering, and natural species invading situation. After three years of community succession process, communities have evolved from initial bermudagrass and ryegrass-based herb-dominated communities into the wild *Chrysanthemum indicum* dominated specie of herb, and the locust tree dominated specie of woody plants into tree, shrub, grass and flowers stratified plant communities. Composition of slope plants increased from 10 to 16 species, and the total vegetation coverage reached 99.0%.

**Key words:** ecological restoration; crushed mountain; vegetation-growing concrete; community characteristic

工程建设的开挖导致山体破碎,山体破碎造成景观破碎,景观破碎化在改变景观格局和物理环境的同时,造成了植物种群个体行为、遗传结构、种群动态、种间互作、以及群落特征的改变<sup>[1]</sup>。破碎山体的生态恢复对区域环境景观改善、水土保持和生态系统稳定有极其重大的意义。许多学者<sup>[2-6]</sup>的研究

指出,植被是生态系统的关键指标,受损生态系统的恢复和重建必须达到生物种类组成多样、群落结构合理、系统结构稳定的目标;同时,自然生态系统的恢复很大程度上是以植被的恢复为基础的<sup>[7]</sup>。植被对破碎山体的作用表现在两个方面:一是形成稳定的植物群落,恢复其生态环境;二是通过植物叶片对

降雨的截留和消蚀作用以及植物根系与岩石土壤的相互作用(加筋和锚固),达到稳定边坡和防止水土流失的目的。

## 1 研究区域概况

济南地处中纬度,属暖温带大陆性季风气候区,四季分明。济南地形复杂多样,南依泰山,北跨黄河,地势南高北低。据统计,济南市周边破损山体达70余处,弃石坡20多处,水土流失严重,生态环境与景观受到极大破坏<sup>[8]</sup>。济南奥体中心是2009年第十一届全运会的主赛场之一,位于济南市东部。工程建设导致的破碎山体断崖面面积约14 100 m<sup>2</sup>。

济南奥体中心破碎山体断崖面的岩质为石灰岩夹碎屑岩及变质岩,坡面基本无可供植物生长的土壤基质,坡度>70°。坡体生物量极少,仅在一些坡度较缓部位有少量草本植物生存,但肉眼可辨其生理指标极弱。整个坡面只见泥质夹层偶有几株小灌木生长,但其株高明显低于周边山体同类型植物。原山体未经开挖的部位,植被覆盖良好,其中乔木以松柏类为主,较为稀疏;有少量低矮灌木,主要为金樱子和酸枣等;其余为乡土草本植物,以狗牙根和狗尾草为主。

济南奥体中心破碎山体生态恢复工程被济南市政府确定为实现“生态文明与和谐全运”的重点项目,并由陕西红叶园林绿化设计工程集团有限公司于2009年完成施工,经过2 a的养护,其生态、景观效果明显。

## 2 材料与方法

### 2.1 济南奥体中心破碎山体生态恢复方法

生态恢复采用了喷混植被绿化技术,该技术为立地条件差、坡度大的岩质破碎山体的生态恢复提供了一项解决方案。喷混植被绿化技术是以工程力学、土壤学和植物学理论为依据,运用喷播机械将土壤、肥料、腐殖质、保水剂、粘结剂、pH缓释剂、绿化添加剂、植物种子等混合加水后喷射到锚固有铁丝网的岩石坡面上,形成10 cm厚度左右的具有连续空隙的硬化体(植被混凝土),在岩石坡面上营造一个既能让植物生长发育而种植基质又不被雨水冲刷的永久性的多孔稳定结构,种子可以在空隙中生根、发芽、生长。通过一段时间的维护,前期以草本植物为主对岩石坡面实现快速绿化、恢复植被,后期以灌木、乔木和藤本植物为主逐渐交替生长,形成一个与当地气候相适应、与周围环境相协调的草、灌、乔、藤结合的多层次目标植物群落,从而达到边坡防护、植物恢复、改善景观和保护环境的目的。

### 2.2 济南奥体中心破碎山体喷播植物种类选择与用量

2.2.1 破碎山体喷播植物特点及选择原则 破碎山体对植被生长影响最大的因素就是土壤贫瘠和缺乏水分,因此,要求破碎山体生态修复的物种一般具备以下特点:耐干旱贫瘠,适应性强;根系发达,能够固持土壤,涵养水分;生命力强,管理粗放;生长迅速,分枝稠密;树冠浓密,落叶丰富,易于分解。

由于岩石上喷射的植被混凝土土层一般厚度只有10~12 cm,植物生长环境受到限制,因此,植物品种的选择要因地制宜,多选择适合本地区气候的品种,还要注意选择抗旱性、抗逆性和互补性强的品种。2.2.2 设计喷播植物种类 在本项目实施过程中,施工方充分利用前人研究成果<sup>[9~13]</sup>,并结合济南奥体中心破碎山体的实际条件,设计的喷播植物种类(表1)。

表1 设计喷播植物种类物种属性

Table 1 Species attributes of designed seeding plant species

植物种类	拉丁学名	生活型
侧柏	<i>Platycladus orientalis</i>	乔木
酸枣	<i>Ziziphus jujuba</i>	灌木
刺槐	<i>Robinia pseudoacacia</i>	乔木
紫穗槐	<i>Amorpha fruticosa</i>	灌木
黄荆条	<i>Vitex negundo</i>	灌木
狗牙根	<i>Cynodon dactylon</i>	多年生
黑麦草	<i>Lolium perenne</i>	多年生
波斯菊	<i>Cosmos bipinnatus</i>	一年生
野黄菊	<i>Chrysanthemum indicum</i>	多年生
小冠花	<i>Coronilla varia</i>	多年生

2.2.3 设计植物种类喷播量 植物喷播量与植物种类及期望形成的植物株树有关,主要受种子(种子发芽率、千粒重、纯净度、发芽覆土厚度、发芽温湿度)、立地条件(坡面地貌特征、坡面水文特征、气候特点、基层与上层土壤厚度)、喷播时间等因素影响。表2是本项目设计的各植物种类的喷播用量及播种密度。植被混凝土混播单位面积植物播种量为21 g,其中草本植物种子9 g,乔灌木植物种子12 g。

表2 设计喷播植物种类种子喷播用量及播种密度

Table 2 Seed seeding dosage and planting density

of designed seeding plant species

喷播植物种类	种子千粒重/g	发芽率/%	播种量/(g·m <sup>2</sup> )	播种密度/(粒·m <sup>2</sup> )	相对播种密度/%
侧柏	37.21	90.02	3.0	80.62	1.135 4
酸枣	50.52	78.54	5.0	77.73	1.094 7
刺槐	18.62	91.23	0.5	26.85	0.378 1
紫穗槐	10.05	72.89	0.5	49.75	0.700 7
黄荆条	11.20	44.50	3.0	119.20	1.678 8
狗牙根	0.28	95.01	1.0	3 571.43	50.298 6
黑麦草	1.80	97.86	2.0	1 111.11	15.648 4
波斯菊	5.40	85.02	3.0	555.56	7.824 3
野黄菊	0.98	97.85	1.0	1 020.41	14.371 0
小冠花	4.10	90.25	2.0	487.80	6.870 0

## 2.3 济南奥体中心破碎山体植被调查方法

2.3.1 样地设置 野外调查时间为2011年8—9月。依据典型样地取样法,根据坡位和植被类型选取样地。考虑破碎山体生态恢复工程为人工种植,植被简单,且坡度较大,为取样和统计方便,样地面积统一设置为5 m×5 m。在不同施工区域分不同坡位(上坡、中坡、下坡)各设置3个样地,共设置6个样地。

2.3.2 群落分析 植被调查依据文献<sup>[14-15]</sup>描述的方法。对每一样方内植物种类进行全面调查,并设置1个1 m×1 m的小样方进行草本层的调查。调查内容包括:乔灌木树种的种类、数量、高度、盖度,标准株的根系数量及分布方向;草本植物的种类、数量、高度、盖度、根系方向、根系长度。

## 3 结果与分析

### 3.1 坡面植物物种组成

3.1.1 坡面植物总体生长情况 2011年8—9月调查时,坡面植物生长良好,覆盖率>99.0%。坡面土层少有裸露,坡脚局部由于栽植大树的影响,形成了一些裸露土层,偶见锚固喷播土层的铁丝网露出。自然入侵的植物种类较多,少数种类已具备与喷播植物竞争的能力。坡体较稳定,鲜有土层剥落现象,只在坡面局部垂直地段有少量剥落,说明植物对固土效果较好。

3.1.2 物种组成 初期构建的人工群落会随着时间的变化不断演替,同时伴随着自然物种的侵入,物种多样性及物种组成亦产生改变。表3是2011年调查的济南奥体中心破碎山体自然侵入植物的物种属性。2011年的坡面物种组成由喷播种最初的10种变为7种,而自然物种则由0种变为9种,物种组成数由10种变为16种,分属10科16属。

表3 2011年济南奥体中心破碎山体  
自然侵入植物物种属性

Table 3 Species attributes of natural invasive plants  
of crushed mountain in Jinan Olympic Sports Center at 2011

植物种类	拉丁学名	生活型
臭椿	<i>Ailanthus altissima</i>	乔木
连翘	<i>Forsythia suspensa</i>	灌木
灰绿藜	<i>Chenopodium glaucum</i>	1年生
大麻	<i>Cannabis sativa</i>	1年生
杠柳	<i>Periploca sepium</i>	藤本
求米草	<i>Oplismenus undulatifolius</i>	1年生
白苞蒿	<i>Artemisia lactiflora</i>	多年生
泥胡菜	<i>Hemistepta lyrata</i>	2年生
豨莶草	<i>Siegesbeckia orientalis</i>	1年生

### 3.2 种元生长分析

3.2.1 设计喷播植物种类的初始出苗率 在植被混凝土喷射施工过程中,为了施工方便通常将所有植物种子和植被混凝土混合后用喷射机在表层进行喷射。由于喷射过程中受人为控制、山体坡度等因素的影响,可能会产生植被混凝土喷射厚度不一致,植物种子混合均匀度不一致等问题。为使研究结果具有普适性,假设本次喷射土层厚度一致(表层喷播理论厚度为3 cm),植物种子混合均匀、播撒均匀。图1结果表明,在所有喷播植物种类中,黑麦草出苗率最高为89.98%,其次是狗牙根为85.01%,最小的是黄荆条为10.05%。

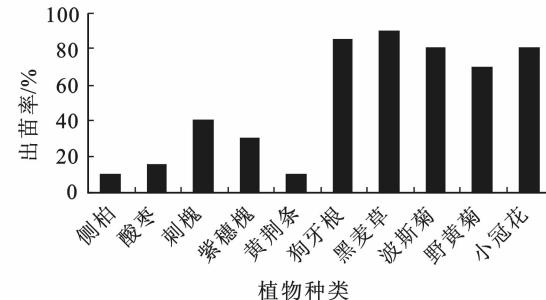


图1 设计喷播植物种类喷播15 d后的出苗率

Fig. 1 Germination rate of designed seeding plant species after seeding 15 days

3.2.2 设计喷播植物种类的种子发芽深度 种子发芽深度是指不发芽种子离坡面的垂直距离,它表征了植物种子对植被混凝土的生态反应。图2结果表明,在设计的10种喷播植物种类中,黄荆条的种子发芽深度值最大为3.08 cm,波斯菊的种子发芽深度值最小为1.94 cm。

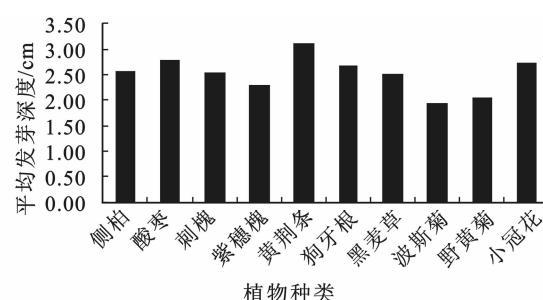


图2 设计喷播植物种类的种子平均发芽深度

Fig. 2 The seed average germination depth of designed seeding plant species

3.2.3 设计喷播植物种类的成苗率 2011年济南奥体中心破碎山体喷播结果(表4)表明,黄荆条成苗率最大,处于竞争优势;2011年的喷播植物群落中草本以野黄菊为优势种,乔灌群落中以刺槐为优势种;侧柏、狗牙根和黑麦草则在演替过程中被淘汰,处于竞争劣势。

表4 喷播植物种类的成苗密度、成苗率及群落优势度

Table 4 Seedling density, rate and community dominance of seeding plant species

植物种类	平均成苗密度/(株·m <sup>-2</sup> )	平均成苗率/%	群落优势度/%
侧柏	0.00	0.00	0.00
酸枣	0.01	4.45	0.12
刺槐	0.08	0.74	0.70
紫穗槐	0.05	0.34	0.41
黄荆条	0.03	11.11	0.29
狗牙根	0.00	0.00	0.00
黑麦草	0.00	0.00	0.00
波斯菊	1.33	0.30	11.58
野黄菊	7.83	1.12	68.06
小冠花	2.17	0.56	18.82

3.2.4 设计喷播植物种类的生长情况 设计植物种类的生长情况主要通过植株生长高度、盖度、根系数量及分布来表征。盖度是指植物地上部分的垂直投影占样地面积的百分比。由于破碎山体的特殊性,这里的盖度是指植物地上部分垂直投影在坡面上的面积与样地面积的百分比。设计喷播植物种类生长调查结果(表5、表6)表明,木本植物生长高度为55.0~370.0 cm,草本植物平均高度为75.3~240.0 cm。2011年植被总盖度>99.0%。从根系分布上看,乔灌木根系多平行于坡面生长,主根多垂直坡面向下生长;草本植物根系浓密,以水平根系为主,垂直根系多为浅根植物,深根植物多以主根向下生长。

表5 2011年济南奥体中心破碎山体喷播木本植物生长情况

Table 5 Findings of seeding woody plant growth of crushed mountain in Jinan Olympic Sports Center at 2011

样地号	植物名称	数量/株	最高高度/cm	最低高度/cm	平均高度/cm	种盖度/%	标准株	
							根系数量	根系分布
样地1	刺槐	6	370.0	80.0	210.0	32.63	6	根系生长与坡面平行,主根向下生长
样地2	刺槐	1	345.0	345.0	345.0	9.52	9	主根垂直于坡面向下生长,侧根平行于坡面生长
样地3	紫穗槐	1	145.0	145.0	145.0	0.40	3	主根垂直于坡面向下生长,侧根平行于坡面生长
	刺槐	1	260.0	260.0	260.0	10.17	6	根系生长与坡面平行,主根向下生长
	紫穗槐	2	147.0	72.0	109.5	1.27	4	主根垂直于坡面向下生长,侧根平行于坡面生长
	黄荆条	5	160.0	55.0	107.0	5.88	7	主根垂直于坡面向下生长,侧根平行于坡面生长
	酸枣	2	156.0	95.0	125.5	3.84	4	主根垂直于坡面向下生长,侧根平行于坡面生长
样地4	刺槐	1	330.0	330.0	330.0	8.04	11	主根垂直于坡面向下生长,侧根平行于坡面生长
样地5	刺槐	1	246.0	246.0	246.0	8.04	9	主根垂直于坡面向下生长,侧根平行于坡面生长
	紫穗槐	3	165.0	85.0	112.0	5.36	9	根系生长与坡面平行,主根向下生长
样地6	刺槐	2	262.0	156.0	209.0	16.08	10	根系生长与坡面平行,主根向下生长
	紫穗槐	1	131.0	131.0	131.0	1.13	4	主根垂直于坡面向下生长,侧根平行于坡面生长

表6 喷播草本植物生长情况调查结果

Table 6 Findings of seeding herbaceous growth

样地号	植物名称	数量/株	平均长度/cm	种盖度/%	平均根长/cm	根系分布
样地1	野黄菊	4	136.5	99.95	21.0	水平根系为主,少量垂直根系
样地2	野黄菊	6	140.2	98.24	21.0	水平根系为主,少量垂直根系
	小冠花	1	240.0	99.08	43.0	主根向下生长,侧根不发达
样地3	野黄菊	3	121.0	99.13	21.3	水平根系为主,少量垂直根系
	波斯菊	5	133.0	7.69	7.2	独立根系较短,多垂直于坡面生长
	小冠花	3	92.3	49.05	24.7	主根向下生长,侧根不发达
样地4	野黄菊	24	128.9	99.91	15.2	水平根系为主,少量垂直根系
	波斯菊	3	121.3	6.70	5.5	独立根系较短,多垂直于坡面生长
样地5	野黄菊	6	108.8	99.75	21.5	水平根系为主,少量垂直根系
	小冠花	2	142.0	45.50	44.5	主根向下生长,侧根不发达
样地6	野黄菊	4	122.5	99.11	27.3	水平根系为主,少量垂直根系
	小冠花	7	75.3	70.12	51.1	主根向下生长,侧根不发达

3.2.5 自然种侵入情况 自然植物种侵入的程度表征了生态恢复的进程。表7结果表明,侵入种类的生活型丰富,从1年生草本到多年生草本,从灌木到乔木和藤本。侵入密度最大的是样地4中白苞蒿的,而侵入种中植株生长最高的是样地2中的泥胡菜。从侵入种出现在样地中的频率来看,灰绿藜和白苞蒿频率最大。从各样地植物侵入种类分布来看,样地3的侵入植物种类最丰富为5种;而样地5与样地6则无自然种侵入。

#### 4 结论与讨论

植被混凝土设计的喷播植物种类初始出苗率与发芽率之间存在一定的差值。影响这个差值的因素有:表层土喷播厚度、表层土壤温湿度、表层土壤粘接度、表层土壤酸碱性、种子预处理、光照条件、土壤水分等。降低这个差值可以通过以下方法实现:根据各植物种子的发芽深度,确定一个合理的表层土壤喷播厚度;根据各植物种子的发芽适温和湿度,合

表 7 济南奥体中心破碎山体自然种侵入调查结果

Table 7 Findings of natural species invasion of crushed mountain in Jinan Olympic Sports Center

样地号	入侵种类	密度/(株·m <sup>-2</sup> )	平均高度/cm	平均根长/cm	发芽深度/cm	种盖度/%	生活型
样地 1	灰绿藜	4.00	108.50	11.50	1.10	83.57	1 年生
样地 2	白苞蒿	1.00	150.00	27.00	2.70	98.00	多年生
	灰绿藜	6.00	94.30	13.25	1.18	12.00	1 年生
	泥胡菜	2.00	240.00	26.00	2.05	39.20	1 年生
样地 3	杠柳	0.40	162.40	—	0.79	5.02	藤本
	臭椿	0.08	96.00	—	3.08	3.54	乔木
	连翘	0.12	49.00	—	0.87	0.24	灌木
	大麻	2.00	118.00	28.75	1.90	78.00	1 年生
	豨莶草	10.00	86.00	10.05	1.05	56.00	1 年生
	白苞蒿	18.00	112.50	12.00	1.51	5.72	多年生

理选择喷播时间;喷播之前将种子进行预处理,提高种子发芽率;石质破碎坡面水分少,加之蒸发、渗透等,需要经常对坡面进行补水。

草本植物平均出苗率高于乔灌木植物平均出苗率。这是因为繁殖能力强、适应干扰的本地种或外来种能以更快的速度占据破碎化生境,能快速占据破碎化生境的物种通常是短生草本植物或灌木<sup>[9-12]</sup>。豆科植物与禾本科植物混播是比较好的生态恢复组合<sup>[13]</sup>,豆科植物可以为坡面植物生长提供氮源,禾本科植物则能快速覆盖坡面。

物种多样性变化是群落演替进程中的一个重要指标,退化生态系统恢复和重建途径应从保护和恢复生物多样性入手<sup>[16]</sup>。植物多样性是生态系统稳定和生物多样性的基础<sup>[17]</sup>,其主要通过植物种类的丰富度体现。经过 3 a 的自然演替,济南奥体中心破碎山体的植物种类由喷播的 10 种演变成 16 种,分属 10 科 16 属,乔、灌、草、花的复层群落结构初显。

自然侵入种为 9 种,分属 7 科 9 属。自然侵入种类的丰富程度表征了植被混凝土生态恢复效果的优劣,植被混凝土对本项目的有益效果是自然侵入种类和生活型丰富,生态恢复效果明显。

坡面植物总体覆盖度>99.0%,其中乔灌木生长高度为 55.0~370.0 cm,草本植物平均生长高度为 75.3~240.0 cm。乔灌木植物根系分支较多,以水平方向和重力方向分布为主,鲜有沿坡面向上生长。这主要是由于植物本身的重力作用,加之坡面水分多往坡脚渗透,水分分布状况对根系分布有指引作用。多年生草本植物根系较发达,多水平分布;1、2 年生草本植物根系较浅短,多垂直分布。

植物固土效果明显,坡面土层少有裸露,坡体较稳定,鲜有土层剥落现象。

## 参考文献:

[1] PERRY J N, GONZALEZ-ANDUJAR J L. Dispersal in a meta-

population neighbourhood model of an annual plant with a seed bank[J]. Journal of Ecology, 1993, 81(3): 453-463.

- [2] 涂修亮,陈建.三峡库区退化生态系统植被恢复与重建研究[J].湖北农业科学,2000(2):29-31.
- [3] 李裕元,邵明安.子午岭植被自然恢复过程中植物多样性的变化[J].生态学报,2004,24(2):252-260.
- [4] LI Y Y, SHAO M A. The change of plant diversity during natural recovery process of vegetation in Ziwuling area[J]. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(2): 252-260. (in Chinese)
- [5] 王震洪,段昌群.滇中几种人工林生态系统恢复效应研究[J]..应用生态学报,2003,14(9):1439-1445.
- [6] WANG Z H, DUAN C Q. Ecological restoration effects of typical manmade ecosystems and relationships between restoration variables in middle Yunnan area[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(9): 1439-1445. (in Chinese)
- [7] CHRISTY T C, IRWIN U A. Aboveground vegetation, seed bank and soil analysis of a 31-year-old forest restoration on coal mine spoil in Southeastern Ohio[J]. The American Midland Naturalist, 2002, 147(1): 44-59.
- [8] Muys B, Beckers G, Nachtergale L, et al. Medium-term evaluation of a forest soil restoration trial combining tree species change, fertilization and earthworm introduction[J]. Pedobiologia, 2003, 47(6): 772-783.
- [9] 曹军胜,朱清科,薛智德.黄土高原地区土地植被承载力与植被生态恢复建设[J].西北林学院学报,2008,23(1):39-43.
- [10] CAO J S, ZHU Q K, XUE Z D. Vegetation carrying capacity of land and vegetation restoration and construction in the Loess Plateau Region[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2008, 23(1): 39-43. (in Chinese)
- [11] 刘高鹏,金章利,牛海波,等.济南奥体中心山体边坡断崖面生态修复模式及效果[J].中国水土保持,2010(7):26-28.
- [12] LIU G P, JIN Z L, NIU H B, et al. Modes and effects of ecological rehabilitation of mountain slope in Olympic Sports Center of Jinan[J]. Soil and Water Conservation in China, 2010(7): 26-28. (in Chinese)
- [13] BROSOFSKE K D, CHEN J, CROW T R. Vegetation responses to landscape structure at multiple scales across a Northern Wisconsin, USA. Pine barrens landscape[J]. Plant Ecology, 2001, 143(2): 203-218.

(下转第 130 页)

- [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<sub>a</sub> 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.