

# 北京市门头沟区石灰窑遗址及公路边坡 裸露地表植被修复模式的生态评价

苗保河<sup>1,2</sup>, 郑延海<sup>3</sup>, 伏芳<sup>1,2</sup>, 孙楠<sup>1</sup>, 张文波<sup>1</sup>,  
卢欣艳<sup>1</sup>, 吴晶<sup>1,2</sup>, 苏本营<sup>3</sup>, 李永庚<sup>3</sup>

(1. 北京山地生态科技研究所, 北京 102300;

2. 北京市门头沟区科技开发实验基地, 北京 102300; 3. 中国科学院植物研究所, 北京 100093)

**摘要:** 研究对北京市门头沟区石灰窑废弃地及公路边坡裸露地表 8 种生态修复模式中的植被生态学特征及生态恢复效果进行了调查评价。结果表明: 石灰窑遗址人工景观再建模式、框格+植被模式及无土碎石挡土墙灌浆模式修复效果较好, 容器苗修复模式和挂网喷播模式效果最差。8 种生态修复模式中, 植被物种丰富度以客土移栽模式最高 ( $29 \pm 1.15$ ), 石灰窑人工景观再建模式次之 ( $23.6 \pm 2.02$ ), 保育棒模式最低 ( $7 \pm 1.1$ ); 植被盖度以石灰窑人工景观再建模式 (88.3%) 和框格+植被模式 (87%) 最高, 植生袋模式和挂网喷播模式最低, 分别为 48% 和 32%; 植被高度以客土移栽模式最高 (546.3 cm), 人工景观模式次之 (316 cm); 挂网喷播和植生袋最低, 分别为 44.97 cm 和 54.13 cm。综合评价结果认为, 石灰窑人工景观再建、框格+植被和挡土墙灌浆模式是门头沟区石灰窑及公路边坡裸露地表生态恢复较适合的修复模式。

**关键词:** 门头沟; 石灰窑遗址; 公路边坡; 植被恢复模式; 生态评价

中图分类号: X171.1; F062.2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2011)06-0125-04

## Ecological Evaluation on Vegetation Restoration in Bare Lands of Limekiln Site and Road Slope in Mentougou District of Beijing

MIAO Bao-he<sup>1,2</sup>, ZHENG Yan-hai<sup>3</sup>, FU Fang<sup>1,2</sup>, SUN Nan<sup>1</sup>,  
ZHANG Wen-bo<sup>1</sup>, LU Xin-yan<sup>1</sup>, WU Jing<sup>1,2</sup>, SU Ben-ying<sup>3</sup>, LI Yong-geng<sup>3</sup>

(1. Institute of Upland Ecology and Technology of Beijing, Beijing 102300, China; 2. Experimental Base of Scientific  
Exploitation of Beijing, Beijing 102300, China; 3. Institute of Botany, the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China)

**Abstract:** An investigation on evaluating the vegetation restoration effects among 8 different modes (referred as A, B, C, D, E, F, G and H) was conducted in Mentougou District of Beijing. The results showed that D, E and F were much better than the others, A and H were the worst among those modes. Among those 8 vegetation restoration modes, species richness of B was the highest ( $29 \pm 1.15$ ), with A in the second place ( $23.6 \pm 2.02$ ) and G was the lowest ( $7 \pm 1.1$ ). Vegetation coverage of E and F was significantly higher than the others (87% and 88.3%, respectively), but that of A and C was much lower than the others (32% and 48%, respectively). The plant height of B was the highest (546.3 cm), with F in the second place (316 cm), A and C were much lower than the others (44.97 cm and 54.13 cm, respectively). In conclusion, those results suggested that D, E and F were better than the others in vegetation restoration in bare lands of limekiln site and road slope in Mentougou District of Beijing.

**Key words:** Mentougou; limekiln site; road slope; vegetation restoration; ecological evaluation

山地石灰窑开采和公路工程建设往往导致山区  
大面积废弃地和裸露坡面的产生。据不完全统计, 自  
20 世纪 90 年代以来, 我国由于采矿而废弃的土地以

2~3.3 万  $\text{hm}^2/\text{a}$  的速度增长<sup>[1-2]</sup>, 高速公路裸露坡面  
面积每年以 2~3 亿  $\text{m}^2$  的速度增长, 在很大程度上  
破坏了自然生态, 导致了严重的水土流失和植被破

收稿日期: 2011-06-20

修回日期: 2011-07-14

资助项目: 北京市科技计划项目“门头沟生态修复产业化涵养发展研究与示范工程”(Z090006040310001)

作者简介: 苗保河(1969—), 男, 博士, 主要研究方向: 植物生态学。E-mail: miaobaohe@163.com

通信作者: 李永庚(1970—), 男, 副研究员, 主要研究方向: 植被生态学。E-mail: liyonggeng@ibcas.ac.cn

坏,严重影响原土、岩体的平衡,形成塌方、水土流失、土壤侵蚀等各种问题。人工植被恢复与重建已成为公路建设和石灰窑废弃地治理的重要组成部分<sup>[3-5]</sup>。美国等发达国家从 20 世纪 30—40 年代就开始在道路边坡开展植被恢复工作,而且技术研究已经较为成熟,常用的主要有种子喷播法、客土喷播法、厚层基材喷播法、肥料袋法、植生袋法等成熟的配套技术<sup>[4,6]</sup>。我国高速公路建设 20 世纪 90 年代后才迅速发展,1996 年云南昆曲高速公路开始运用生态护坡进行绿化,从此公路植被恢复揭开了新的内容<sup>[6]</sup>。与传统的护坡形式相比,生态护坡不仅能稳定边坡,保持水土,而且节约成本<sup>[7]</sup>。但对于各种恢复模式的生态适应性研究严重滞后,也远远落后于一些发达国家<sup>[8-9]</sup>。本试验选择门头沟区不同石灰窑遗址及公路坡面植被恢复模式作为研究对象,针对坡面植物的生态恢复效果进行评价研究。

## 1 区域概况

门头沟区地处北京城区西部偏南,位于东经 115°25′00″—116°10′07″,北纬 39°48′34″—40°10′37″之间,全区面积 1 455 km<sup>2</sup>,其中山地面积达 98.5%,平原面积仅为 1.5%,79.2%的土地为林木所覆盖,森林覆盖率 90%左右,是首都西部的天然生态屏障。低山丘陵地貌,中纬度大陆性季风气候,春季干旱多风夏季炎热多雨,秋季凉爽湿润,冬季寒冷干燥,年平均气温 10.2℃,7 月平均温度 22℃<sup>[4,9]</sup>,降水量自东向西逐渐减少,且年际变化大,年降水量在 720 mm 以上。门头沟区曾是北京的主要矿业基地,百余年的采矿史和砂、石的大量开采,以及近年来道路的扩建,严重的破坏了门头沟山区的生态系统<sup>[10-14]</sup>。随着门头沟“生态涵养区”建设的开展,门头沟生态修复工程建设已经启动多年<sup>[4]</sup>,对于门头沟区废弃地及公路边坡植被修复效果和评价却未见报道。

## 2 植被类型及研究方法

### 2.1 植被类型

门头沟区植被在植被区划上属暖温带落叶阔叶林区的辽冀山地、丘陵油松、辽东栎、槲栎林区,共有高等植物 131 科、485 属、1 100 种<sup>[15-17]</sup>。主要类型包括辽东栎(*Quercus liaotungensis*)林、桦木(*Betula* spp.)林、山杨(*Populus davidiana*)林、油松(*Pinus tabulaeformis*)林和华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii*)林等。该区灌丛广泛分布,如山杏(*Prunus ameniaca* var. *ansu*)、山桃(*Prunus davidiana*)灌丛、荆条(*Vitex negundo* var. *heterophylla*)灌丛等(表 1)。

表 1 门头沟区植被分类系统

植被类型	群系
寒温带性针叶林	1. 华北落叶松
温带性针叶林	2. 油松林
	3. 侧柏林
	4. 辽东栎林
	5. 白桦林
	6. 棘皮桦林
	7. 硕桦林
落叶阔叶林	8. 坚桦林
	9. 山杨林
	10. 核桃楸林
	11. 大叶白蜡林
	12. 落叶阔叶混交林
	13. 鹅耳枥林
	14. 荆条灌丛
	15. 山杏灌丛
	16. 山桃灌丛
	17. 杂灌丛
	18. 虎榛子灌丛
	19. 三桠绣线菊灌丛
落叶阔叶灌丛	20. 沙棘灌丛
	21. 二色胡枝子灌丛
	22. 平榛灌丛
	23. 毛榛灌丛
	24. 鬼见愁灌丛
	25. 金露梅灌丛
	26. 银露梅灌丛
	27. 杂类草草甸
草甸	28. 矮紫苞鸢尾+细柄苔草草甸
	29. 紫苞风毛菊+细柄苔草草甸

### 2.2 研究方法

本研究选择门头沟区 8 种典型植被恢复技术作为研究对象,针对植被恢复效果进行评价,旨在筛选出适合该地区公路边坡及矿山废弃地植被恢复模式。根据门头沟矿区公路边坡类型的多样化及立地条件的差异性,对植被修复模式的选择要根据生态适应性、持续稳定性、和谐一致性、生物多样性等原则进行。门头沟区石灰窑矿山废弃地与公路边坡主要的植被修复模式有挂网喷播、客土移栽、植生袋、挡土防护工程、框格防护工程、人工景观重建、保育棒和容器苗等 8 种主要的植被修复模式。上述植被修复类型对应的植被优势物种分别为:油蒿、白杨、黑麦草、栎树、荆条、侧柏、苜蓿和柳树(表 2)。

### 2.3 评价指标的确定及计算

2.3.1 植被高度 植被高度主要是指项目区优势物种的平均高度,可有效反应恢复植物的高度及与周边植物的竞争能力。该指标主要是通过随机测量项目区 10 株优势植物高度,取其平均值而获得的。

表 2 门头沟山区植被修复类型及坡面特性

编号	恢复技术类型	位置、坡型	坡向	坡度/(°)	岩土特性	优势植物	植物功能型
A	挂网喷播	百花山沿途、上边坡	半阳坡	55~80	裸岩覆土	油蒿	草本
B	客土移栽	百花山沿途、上边坡	阳坡	10~15	裸岩覆土	白杨	灌丛
C	植生袋	陈家屯、上边坡	阳坡	30~35	裸岩	黑麦草	草本
D	挡土工程	黄土台、下边坡	半阳坡	45~52	裸岩灌浆	栎树	灌木
E	框格防护	付家台、上边坡	阳坡	35~37	裸岩	荆条	灌草丛
F	人工景观	潭柘寺、妙峰山、石灰窑遗址	阳坡	阶梯平地	裸岩覆土	侧柏	灌木+草
G	保育棒	百花山沿途、下边坡	阴坡	65~67	裸岩覆土	苜蓿	草本
H	容器苗	黄土台、下边坡	半阳坡	45~46	裸岩覆土	柳树	灌木

2.3.2 植被盖度 植被盖度是项目区林草面积占总面积的百分比,能够有效地反映植被恢复效果。林草盖度主要是通过样方与目测相结合的方法获取,在项目区进行样方调查,灌木样方设置 4 m×4 m,草本样方设置 1 m×1 m,共调查样方 108 个,并于 6 月、7 月、8 月分别进行一次调查。计算公式为:

$$C=100\times S_1/S_0$$
 (1)

式中: C——植被盖度; S<sub>0</sub>——测定的样方面积; S<sub>1</sub>——样方内林草面积。

2.3.3 物种丰富度 植被物种丰富度是指项目区植物群落物种数,是生物多样性的衡量指标。本文选用群落物种数作为丰富度指标,它能直接反映群落物种多样性特点,调查方法采用样方调查法。

$$R=S$$
 (2)

式中: R——物种丰富度; S——物种的数目。

2.4 统计分析

将调查数据整理并录入 Excel 中,建立相关数据库,运用 SPSS 15.0 等软件进行方差分析(One-way ANOVA)。图表在 Excel 中绘制。

3 结果与分析

3.1 不同修复模式下的物种丰富度

物种丰富度是指所调查区域的物种数量,是反映生物多样性的一个重要指标。本研究发现,不同植被恢复类型下的物种数量差异极显著( $P<0.01$ ),由图 1 可以看出,客土移栽技术恢复下的物种丰富度最高( $29\pm1.15$ );石灰窑人工景观再造技术恢复下的物种丰富度次之( $23.6\pm2.02$ ),这两种恢复技术下的物种

丰富度显著高于其他恢复类型;所有恢复类型中,以保育棒恢复技术的物种数量最低,仅有 7 种,与其他几种恢复类型的物种丰富度差异较大( $P>0.05$ )。不同植被恢复模式下的物种丰富度由大到小的排序为: B>F>E>A>C=D=H>G。

3.2 不同修复模式下的植被覆盖

植被盖度能够有效地反映植被恢复的效果。根据本研究发现几种植被修复技术恢复的盖度均取得了较好的效果,但方差分析表明不同植被恢复技术下的植被盖度处理间差异显著( $P<0.01$ ),其中挂网喷播技术效果最差,植被覆盖率最低,仅为 32%,显著低于其它恢复方法;植生袋技术恢复效果也较差,植被覆盖率为 48%;植被覆盖率最高的为框格防护和人工景观再造技术,覆盖率分别达到了 88.3%和 87%,与另外几种恢复技术相比,植被覆盖的差异不显著。不同植被恢复模式下的植被盖度由大到小的排序为: E>F>H>G>D>B>C>A,详见图 2。

3.3 不同修复模式下的植被高度

植被高度可有效反映恢复群落中植物的高度及与周边植物的竞争能力,图 3 反映了不同植被恢复模式下的植被高度的情况。方差分析结果显示,处理间差异显著( $P<0.01$ )。以客土移栽技术下的植被高度最高,为( $546.3\pm21.07$ ) cm,人工景观再造技术次之,植被高度约为 316 cm;以挂网喷播技术和植生袋技术下的植被高度最低,分别为 44.97 cm 和 54.13 cm。不同植被恢复模式下的植被高度由大到小的排序为: B>F>H>E>D>G>A>C。

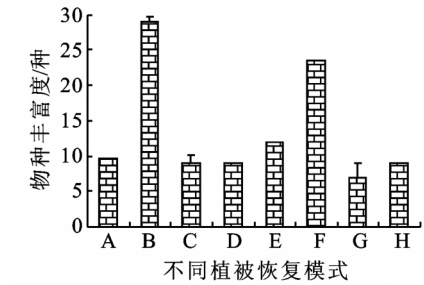


图 1 不同恢复模式下的物种丰富度

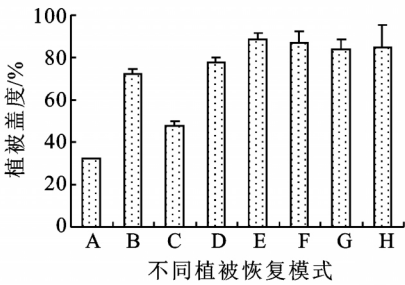


图 2 不同恢复模式下的植被覆盖

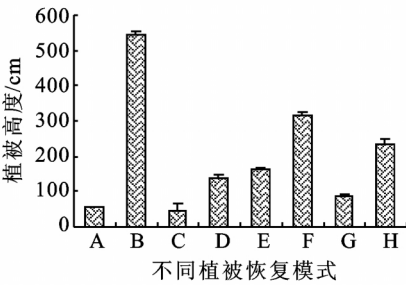


图 3 不同恢复模式下的优势植物高度

## 4 讨论与结论

道路边坡植被恢复能够有效控制坡面泥沙、渣体滑落,减少坡体表层不稳定对公路安全运行造成的威胁,也可起到美化环境、改善生态条件的作用<sup>[1,2,18]</sup>。矿山废弃地的生态恢复和重建,可以改善周边环境的质量,实现社会经济系统与资源环境系统协调进化、良性循环<sup>[7,19]</sup>。本研究发现,门头沟区根据不同的自然地理条件所选择的植被生态恢复模式均起到了一定的生态修复效果,但模式之间的差异较大。根据恢复后的典型植被生态学特征<sup>[20-21]</sup>,我们认为在8类生态修复模式中人工景观恢复模式、框格防护工程生态恢复技术及挡土工程技术恢复效果最好;客土移栽技术和植生袋恢复技术次之;保育棒恢复技术、容器苗法恢复技术和挂网喷播技术不太理想,不适合在该地区应用。

根据研究结果,阶梯式人造公园是山地石灰窑遗址生态修复的适用方法,不仅可弥补开矿对原位立地条件的破坏,而且可以增加多样的人文景观,为门头沟区旅游业的发展起到一定的辅助作用。另外,在石灰窑遗址人工重建及公路建设过程中,边坡排水系统尤为重要,良好的排水系统是保证边坡稳定的重要条件,所以在今后的生态环境恢复评价中,排水系统的完善应作为一个重要的评价指标。

框格防护工程生态修复技术和无土碎石边坡创新修复技术(挡土墙修复技术)是比较实用的边坡修复技术,但也存在着一定的局限性,如框格+植被技术对物种的要求比较局限,由于土层较薄,根系下扎比较困难,所以只适合栽植浅根系植物<sup>[22]</sup>。挡土墙灌浆技术是碎石无土坡面植被生态修复最为有效的方法,而且成本低,有效期长,值得在类似山地坡面生态修复中大力推广应用。

### 参考文献:

- [1] 朱海鹰,徐国钢,张军.高速公路边坡生态防护施工技术[J].中外公路,2003,23(3):83-85.
- [2] 刘春霞,韩烈保.高速公路边坡植被恢复研究进展[J].生态学报,2007,27(5):2090-2098.
- [3] Matesanz S, Valladares F. Improving revegetation of gypsum slopes is not a simple matter of adding native species: Insights from a multispecies experiment [J]. Ecological Engineering, 2007, 30: 67-77.
- [4] 张文波,孙楠.门头沟区生态修复及生态城市建设模式探讨[J].生态人类,2010(3):3-4.
- [5] Wang Z Q, Wu L H, Liu T T. Revegetation of steep rocky slopes: Planting climbing vegetation species in artificially drilled holes[J]. Ecological Engineering, 2009, 35: 1079-1084.
- [6] Yang M H. Landscape design of highway[J]. Journal of China and Foreign Highway, 1998, 18(1): 1-4.
- [7] Pu Z. The application of planting on highway slope[J]. Gansu Shuili Shuidian Jishu, 2003, 39(4): 335-338.
- [8] 余新晓,秦永胜,陈丽华,等.北京山地森林生态系统服务功能及其价值初步研究[J].生态学报,2002,22(5): 627-630.
- [9] 李永庚,蒋高明.矿山废弃地生态重建研究进展[J].生态学报,2004,24(1):95-100.
- [10] Brooker R W, Maestre F T, Callaway R M. Facilitation in plant communities: The past, the present, and the future[J]. Journal of Ecology, 2008, 96: 18-34.
- [11] 冯朝阳,高吉喜,田美荣,等.京西门头沟区自然植被滞尘能力及效益研究[J].环境科学研究,2007,20(5): 155-159.
- [12] 史作民,程瑞梅,刘世荣.宝天曼落叶阔叶林种群生态位特征[J].应用生态学报,1999,10(3):265-269.
- [13] 方精云.中国森林生产力及其对全球气候变化的响应[J].植物生态学报,2000,24(5):513-517.
- [14] 侯英雨,柳钦火,延昊,等.我国陆地植被净初级生产力变化规律及其对气候的响应[J].应用生态学报,2007,18(9):1546-1553.
- [15] Kreuter U P, Harris H G, Matlock M D, et al. Change in ecosystem service values in the San Antonio area[J]. Ecological Economics, 2001, 39: 333-346.
- [16] 周广胜,张新时.全球气候变化的中国自然植被的净第一性生产力研究[J].植物生态学报,1996,20(1):11-19.
- [17] Tormo J, Garcia-Fayos P, Bochet E. Relative importance of plant traits and ecological filters in road embankment revegetation under semiarid Mediterranean conditions[J]. Ecological Engineering, 2008, 33: 258-264.
- [18] 周冰冰,李忠魁,侯元兆,等.北京市森林资源价值[M].北京:中国林业出版社,2000.
- [19] 郑元润,周广胜.基于NDVI的中国天然森林植被净第一性生产力模型[J].植物生态学报,2000,24(1):9-12.
- [20] Armas C, Pugnaire F I. Plant interactions govern population dynamics in semi-arid plant community [J]. Journal of Ecology, 2005, 93: 978-989.
- [21] 黄银晓,林舜华,韩荣庄,等.北京主要绿化植物和土壤对大气中硫的积累特点及其指示、净化作用[J].植物学报,1990,32(5):380-389.
- [22] Nemani R R, Kelling C D, Hashimoto H, et al. Climate-driven increases in global terrestrial net primary production from 1982 to 1999[J]. Science, 2003, 300: 1560-1563.