

文章编号: 1002-0268 (2007) 08-0155-04

# 黄土地区公路边坡客土喷播试验研究

芮少权<sup>1,2</sup>, 张宇<sup>3</sup>, 王永海<sup>3</sup>

(1. 长安大学, 陕西 西安 710064; 2. 陕西省高速公路建设集团公司, 陕西 西安 710016;  
3. 交通部科学研究院, 北京 100029)

**摘要:** 陕西黄土地区具有干旱半干旱、半干旱或半湿润的气候特点, 土质疏松, 公路边坡易被侵蚀。2004年3~9月, 禹门口-阎良高速公路采用客土喷播技术, 开展了黄土边坡生态恢复试验研究。2004~2006年的观测结果表明, 在该地区采取客土喷播技术, 能够在公路边坡快速地建立起良好的植被, 1年后植被覆盖率可以达到100%。边坡一旦建立植被, 只要植物种类配比恰当, 植物群落能够保持相对稳定。坡比是影响生态恢复效果的重要因素, 有条件的话, 宜采用1:1的边坡。

**关键词:** 环境工程; 公路边坡; 客土喷播; 黄土地区; 生态恢复

**中图分类号:** S731.8

**文献标识码:** A

## Study on External-soil Spray Seeding Experiments on Side Slope of Expressway in Loess Region

RUI Shao-quan<sup>1,2</sup>, ZHANG Yu<sup>3</sup>, WANG Yong-hai<sup>3</sup>

(1. Chang'an University, Shaanxi Xi'an 710064, China;  
2. Shaanxi Expressway Construction Group, Shaanxi Xi'an 710016, China;  
3. China Academy of Transportation Sciences, Beijing 100029, China)

**Abstract:** The climate of the loess region in Shaanxi Province is arid, semi-arid, or sub-humid, while the soil there is loose and easy to be eroded. Two pilot experiments for ecological restoration on side slopes of Yumenkou-Yanliang Expressway were carried out in March and September, 2004. The external-soil spray seeding technology was applied for vegetation establishing. The subsequent observations from 2004 to 2006 indicates that the external-soil spray seeding could restore the vegetation on the side slopes in a short period, and the restoration ratio could reach 100% one year later. The vegetation may maintain stable after establishing if plant species mixture is appropriate. The slope ratio is an important factor, which may affect the result of vegetation established, and the ratio at 1:1 is recommended.

**Key words:** environment engineering; side slope; external-soil spray seeding; loess region; ecological restoration

黄土地区公路边坡尤其是路堑边坡的植被恢复一直是公路生态恢复的难点。1995~1997年, 常根柱、赵贵钧等曾对黄土路堑式边坡采用挖穴投种、种包塞植、种子直播和野生狗牙根栽植等方法进行研究, 认为边坡绿化以挖穴投种、覆土、浇水方法最好。安登奎(2004)等提出采取铺设三维网+草皮和土工格室、增施有机肥料、培肥地力、选择适生乡土树草种等技术措施, 以提高高陡边坡绿化植物的成活率和保存率。杜荣生(2005)认为: 坑植野牛草技术适合公路黄土挖方边坡绿化。陈兵等(2004)曾采用普通喷

播技术在铜黄1级公路边坡进行生态恢复, 认为结合开挖水平沟或鱼鳞坑的坡面处理措施, 当年植被覆盖度可以达到50%以上, 且所建立的植物群落能够顺利越冬越夏, 优势植物种类包括冰草、黄花草木樨、紫花苜蓿等, 但存在边坡植被片状剥落、植被枯黄期比较长的问題。

从研究现状来看, 黄土地区边坡生态恢复技术还比较缺乏, 还存在着植被覆盖率不高(约50%)、植物绿期较短等不足。需要针对干旱、半干旱或半湿润气候的特点, 尝试新的生态恢复技术, 以进一步提高

收稿日期: 2007-06-14

作者简介: 芮少权(1966-), 男, 陕西礼泉人, 高级工程师, 博士, 研究方向为交通环保与可持续发展。(ruishaoquan@tom.com)



该地区公路生态恢复水平。为此,在禹门口-阎良高速公路开展了应用客土喷播技术进行边坡生态恢复的试验研究。

1 试验点概况

禹阎高速公路,起自秦晋交界的禹门口,经韩城、合阳、澄城、蒲城、富平,至西阎高速公路终点阎良,呈东北、西南走向,全长 176.89 km。沿线经过平坦的关中平原,穿过沟壑纵横的渭北黄土高原,地势复杂多样。沿线地区覆盖有深厚风成黄土,厚约几十米至百余米,是中国水土流失最严重的地区,也是黄河泥沙的主要来源区之一。公路沿线气候条件参见表 1,属于暖温带半干旱或半湿润季风气候。

表 1 禹阎高速公路沿线气候特征

Tab.1 Climate characteristics of the Yu-Yan Expressway

区县	日照时数/h			年气温/℃			年降水/mm			年蒸发量/mm	积温 ≥10℃
	平均	min	max	平均	min	max	平均	min	max		
阎良	2 038	1 665	2 404	13.3	8.6	19.0	580	346	841	1 546	4 952
富平	2 472	2 189	2 673	13.1	8.4	18.9	527	360	716	1 982	4 902
蒲城	2 348	2 048	2 390	13.3	8.2	19.1	526	390	713	1 970	4 975
澄城	2 538	2 058	2 870	12.2	7.4	18.1	544	389	771	1 775	4 622
合阳	2 593	2 052	2 772	11.5	6.3	17.3	553	434	815	4 802	4 433
韩城	2 442	2 087	2 719	13.5	8.7	19.0	561	399	1 082	1 984	5 035

具体试验地点包括:(1) k172 + 500 ~ k174 + 100 段,该段路堑边坡分 6 级,除第 1 台坡度为 1:0.5 外,其余各台均为 1:0.4。(2) k76 + 000 ~ k77 + 000,该段路堑边坡不分台,坡度较缓,约为 1:1。

2 种植工艺、材料及时间

2.1 种植工艺

k172 + 500 ~ k174 + 100 边坡采用的是湿法客土喷播工艺,即普通的客土喷播,k76 + 000 ~ k77 + 000 边坡采用的是干法客土喷播工艺,即厚层基材喷播。

湿法客土喷播工艺采用的是日本进口的专用客土喷播机,干法客土喷播工艺采用的是混凝土喷射机和空压机。辅助设备包括卡车、抽水泵、发电机和洒水车等。

2.2 试验材料

植物种子:按照黑麦草 1.4 g/m<sup>2</sup>、高羊茅 0.7 g/m<sup>2</sup>、沙生冰草 11.1 g/m<sup>2</sup>、沙蒿 13.9 g/m<sup>2</sup>、沙打旺 2.0 g/m<sup>2</sup>、草木樨 2.0 g/m<sup>2</sup>、柠条 5.5 g/m<sup>2</sup> 混播。

客土:天然有机培养土,pH 值 6.0 ~ 7.0,饱和容重 0.5 ~ 0.6 t/m<sup>3</sup>。

稳定剂:无污染粘结剂,采用高分子聚合物及天

然植物加工而成。

养生材料:木质纤维。

肥料:速效化肥 + 缓效有机肥。

铁丝网:直径为 2.6 mm,孔径为 5 cm × 5 cm 的镀锌铁丝网。

锚杆:挂镀锌网的主锚杆采用 Φ16 mm, L = 40 cm 的钢筋,辅锚杆采用 Φ10 ~ 12 mm, L = 20 cm 的钢筋。

无纺布:12 g/m<sup>2</sup> 左右。

2.3 施工工序

按照清理边坡、安装锚杆、铺设并固定铁丝网、客土喷播及养护管理等工序进行施工。喷播时,自上而下分二次实施喷播,第 1 次喷播厚 3 cm,待客土稳定后再喷播第 2 次至设计厚度。喷播后覆盖无纺布,30 ~ 45 d 后揭除无纺布练苗。

2.4 施工时间

k172 + 500 ~ k174 + 100 边坡生态恢复施工时间为 2004 年 3 月;k76 + 000 ~ k77 + 000 边坡生态恢复施工时间为 2004 年 9 月。

3 试验结果分析

3.1 客土喷播能够在黄土边坡快速建立良好植被

从试验情况看,无论是湿法客土喷播,还是干法客土喷播,都能够在黄土边坡快速地建立起良好的植被。以 k172 + 500 ~ k174 + 100 边坡为例,播种 4 d 后,黑麦草、苜蓿等开始出苗,7 d 后鸭茅、冰草、草木樨等开始出苗,15 d 左右柠条偶见发芽。2 个月后,植被基本覆盖坡面,揭除无纺布。

从表 2 可以看出,喷播 2 个月后,植被密度很高,禾本科的鸭茅和黑麦草植株较多,而苜蓿、草木樨等豆科植物所占比例不高。

表 2 喷播 2 个月后植被生长情况

Tab.2 Growing status of vegetation 2 months after spray seeding

植物类别	高度/cm	密度/(株·m <sup>-2</sup> )	生物量/(g·m <sup>-2</sup> )
禾本科	19 ~ 26	13 440	1 140
豆科	4 ~ 6	1 760	100
小计	—	15 200	1 240

3.2 植被建立后能够维持相对稳定

图 1、图 2 和图 3 分别是 k76 + 000 ~ k77 + 000 边坡客土喷播后植被的盖度、密度和地上生物量变化情况。

从图 1 中可以看出,2004 年 9 月播种后,当年植被覆盖率就达到了 90% 以上。第 2 年,边坡植被返青良好,植被覆盖度逐步增加,达到 100%。第 3 年,



边坡植被返青良好, 植被覆盖度维持在 100%。

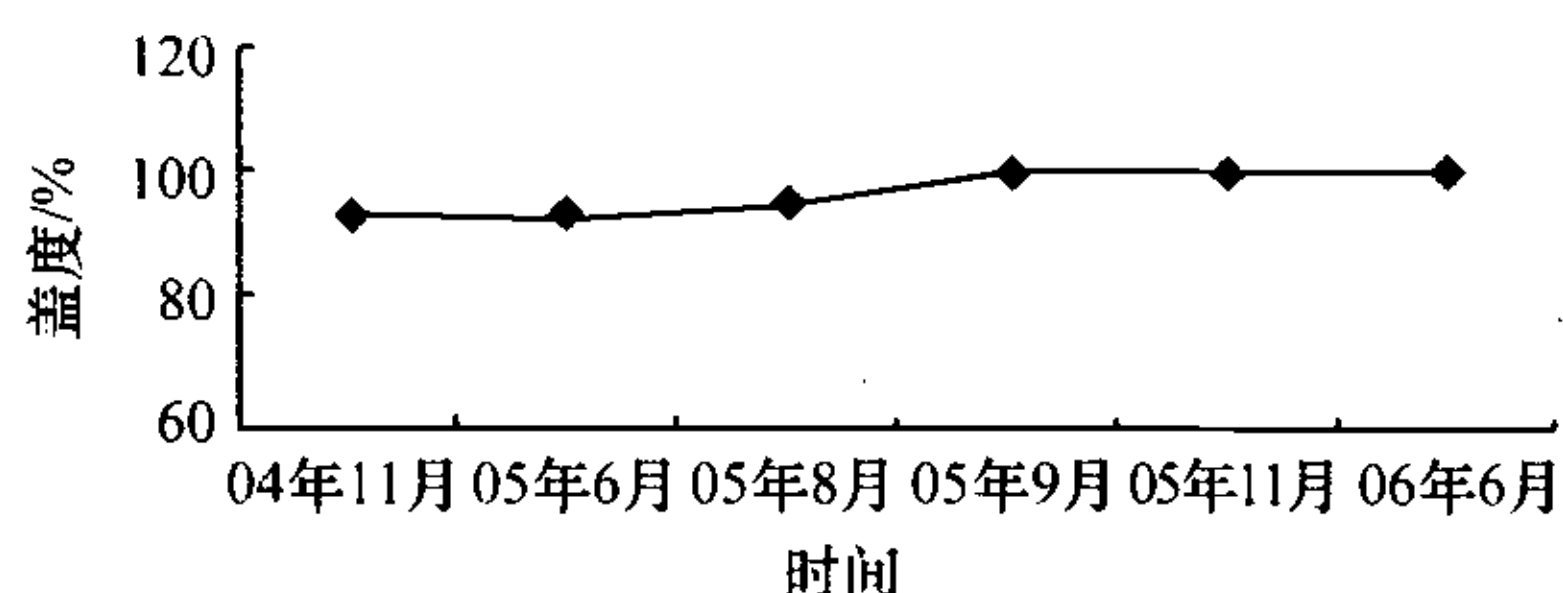


图1 植被盖度变化

Fig.1 Trend of vegetation coverage change

从图2中可以看出, 播种当年植被密度较大。2个月后, 植被达到了 15 200 株/m<sup>2</sup>。第2年, 植被返青后, 植被密度逐步降低, 秋天时植被密度为 1 072 株/m<sup>2</sup>。此后, 植被密度趋于稳定, 维持在 1 000 株/m<sup>2</sup> 左右。

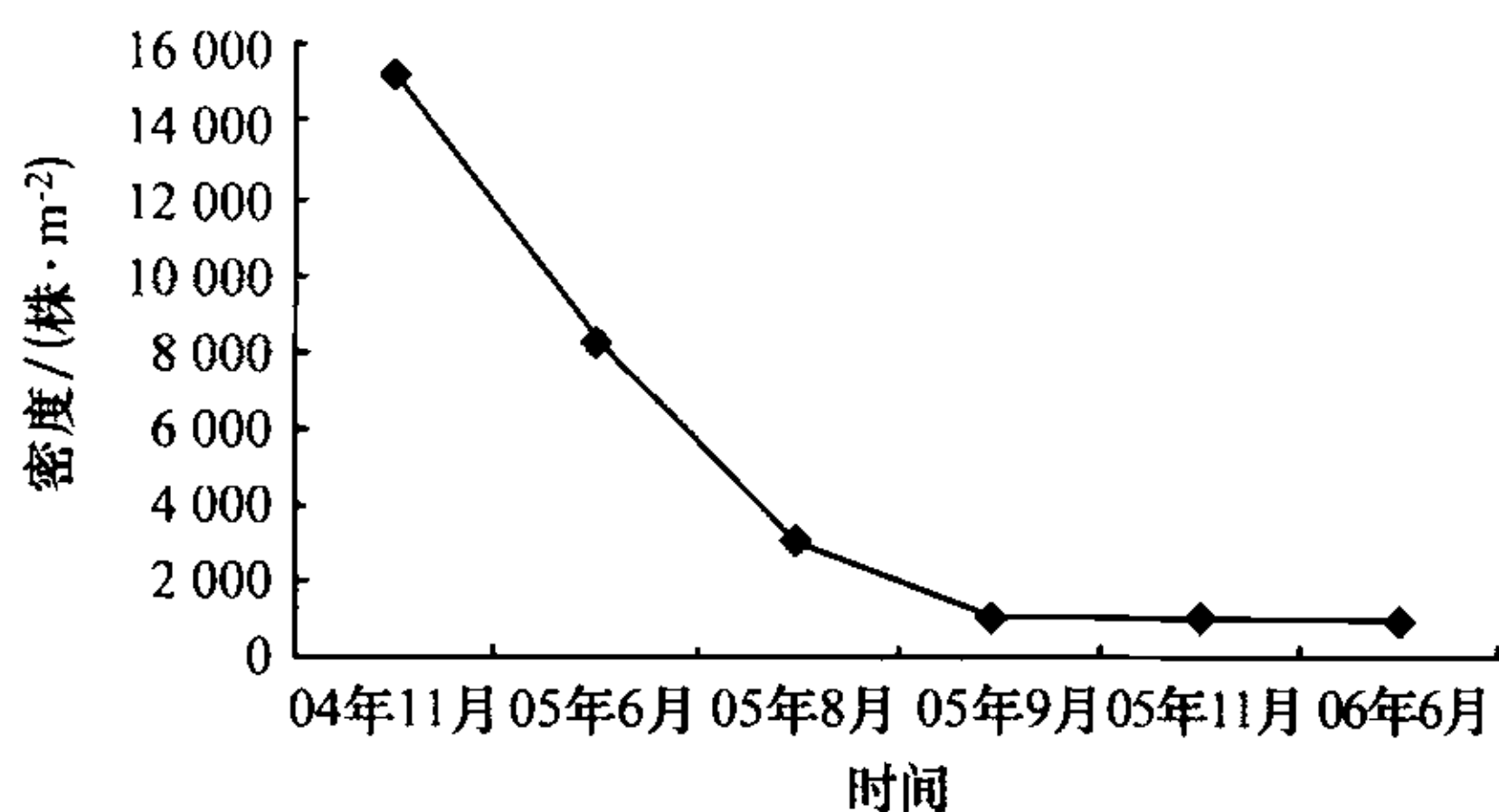


图2 植被密度变化

Fig.2 Trend of vegetation density change

从图3中可以看出, 播种当年植被地上生物量约为 1 240 g/m<sup>2</sup>。第2年, 植被返青后, 植被地上生物量逐步增加, 夏天可以达到 3 667 g/m<sup>2</sup>。深秋后, 地上生物量回落。

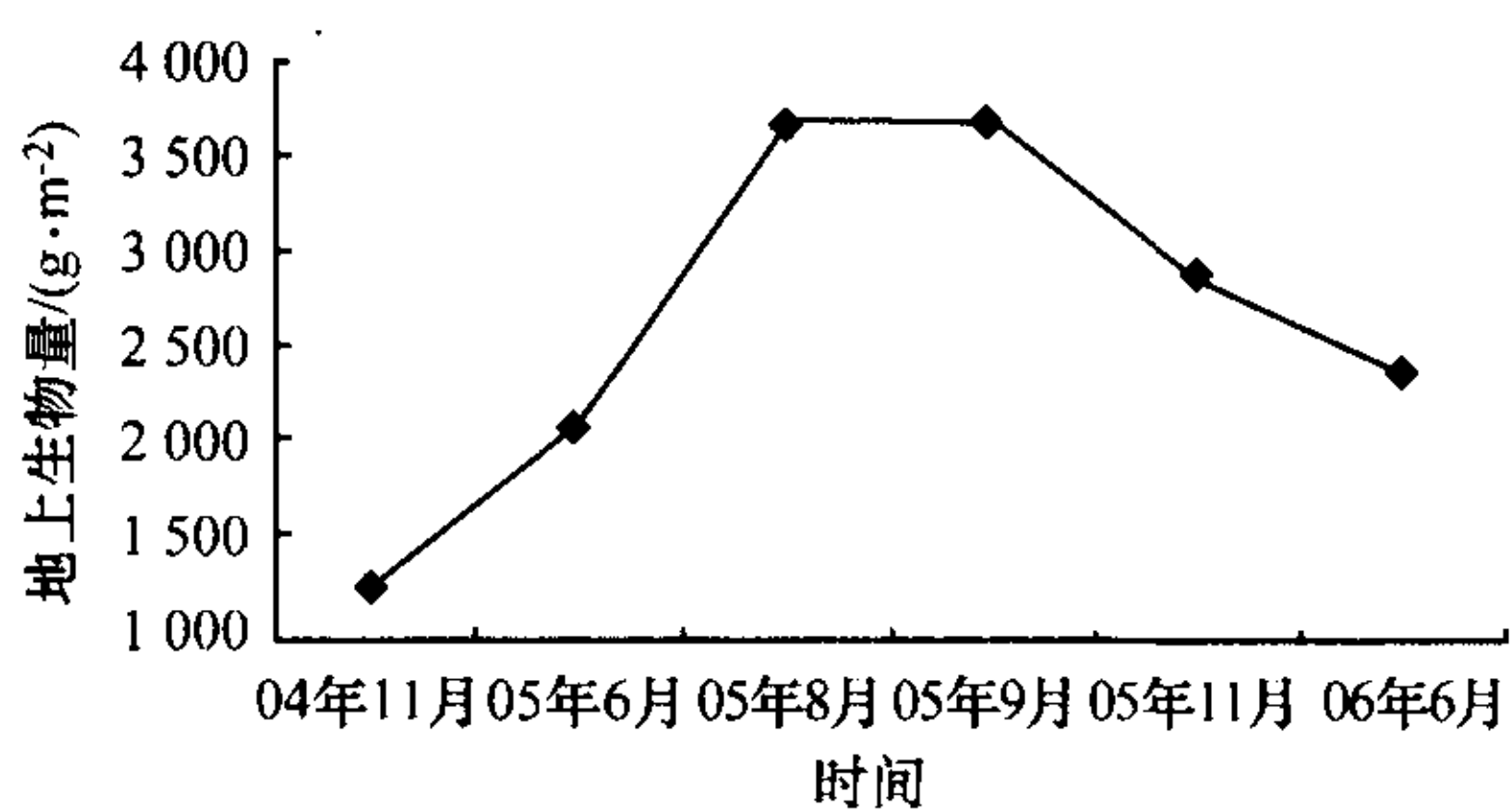


图3 植被地上生物量变化

Fig.3 Trend of vegetation above-ground biomass change

综合以上分析可以看出, 客土喷播 1 年后, 边坡植被覆盖率基本可以维持在 100%; 随着植被的生长, 植株变大、高度增加, 在密度制约作用下, 部分植株淘汰, 植被密度趋于平衡、合理; 而植被生物量则随着季节的变化而变化, 即春天返青后, 随着气温的回升, 植物长势加快, 生物量逐渐增加, 夏天在温湿条件的共同作用下, 生物量达到最高, 秋天随着气温的下降, 植物长势变缓, 逐渐枯黄, 直至停止生

长, 完成一个生长季。

从试验情况看, 植被经过了 2 个冬季、1 个夏季的考验, 长势良好, 说明客土喷播给植被创造了良好的生长基础, 植物群落长势稳定。

### 3.3 边坡过陡影响生态恢复效果

从试验情况看, 边坡过陡会影响生态恢复效果。k172+500~k174+100 边坡坡比为 1:0.4, 而 k76+000~k77+000 边坡坡比为 1:1。从图4可以看出, 除 2004 年 11 月外, 2005 年和 2006 年 6 月的观测结果都是坡比为 1:1 的边坡, 植被覆盖度要高于 1:0.4 的边坡。同样地, 从图5也可以看出, 除 2004 年 11 月外, 2005 年和 2006 年 6 月的观测结果都是坡比为 1:1 的边坡, 植被生物量要高于 1:0.4 的边坡。2004 年 11 月的观测结果之所以例外, 是因为两处边坡的施工时间不同, 坡比为 1:0.4 的边坡 (即 k172+500~k174+100) 比坡比为 1:1 的边坡早施工 5 个月, 因此在播种当年, 无论是盖度还是生物量都要大一些。而从第2年开始, 在其他条件基本相同的情况下, 植被的长势则与边坡坡比有关, 坡度越缓, 植被生长条件越好, 相应地植被盖度和生物量也就越大。

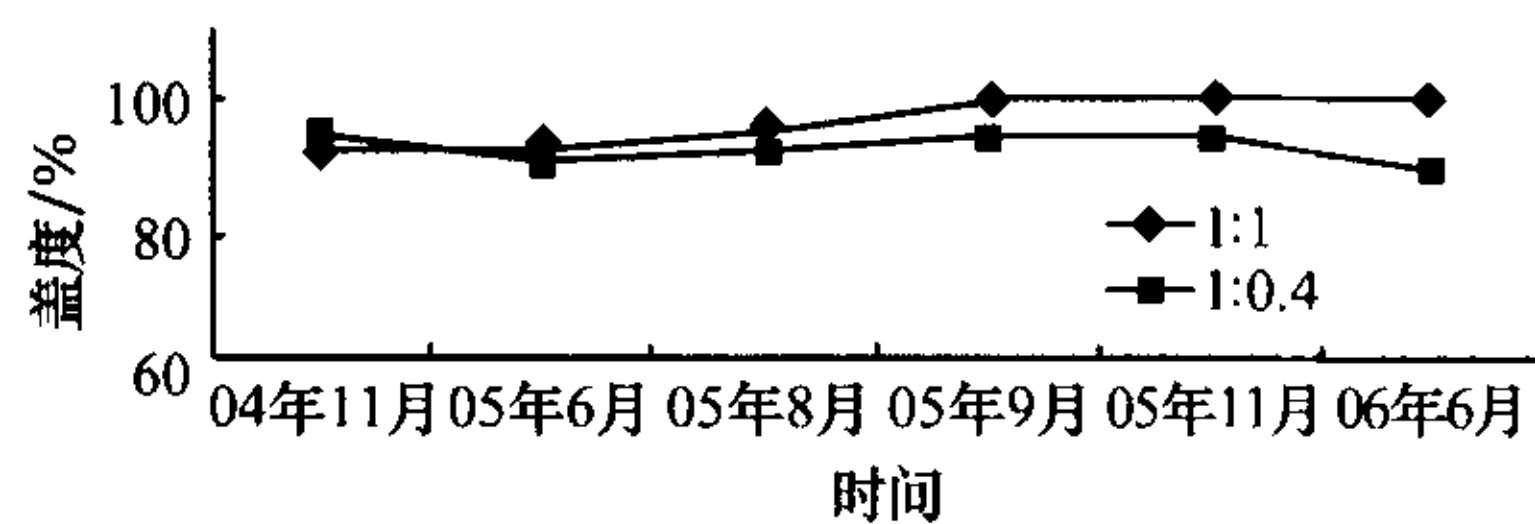


图4 不同坡比的植被盖度比较

Fig.4 Comparison of vegetation coverage on slopes with different slope ratio

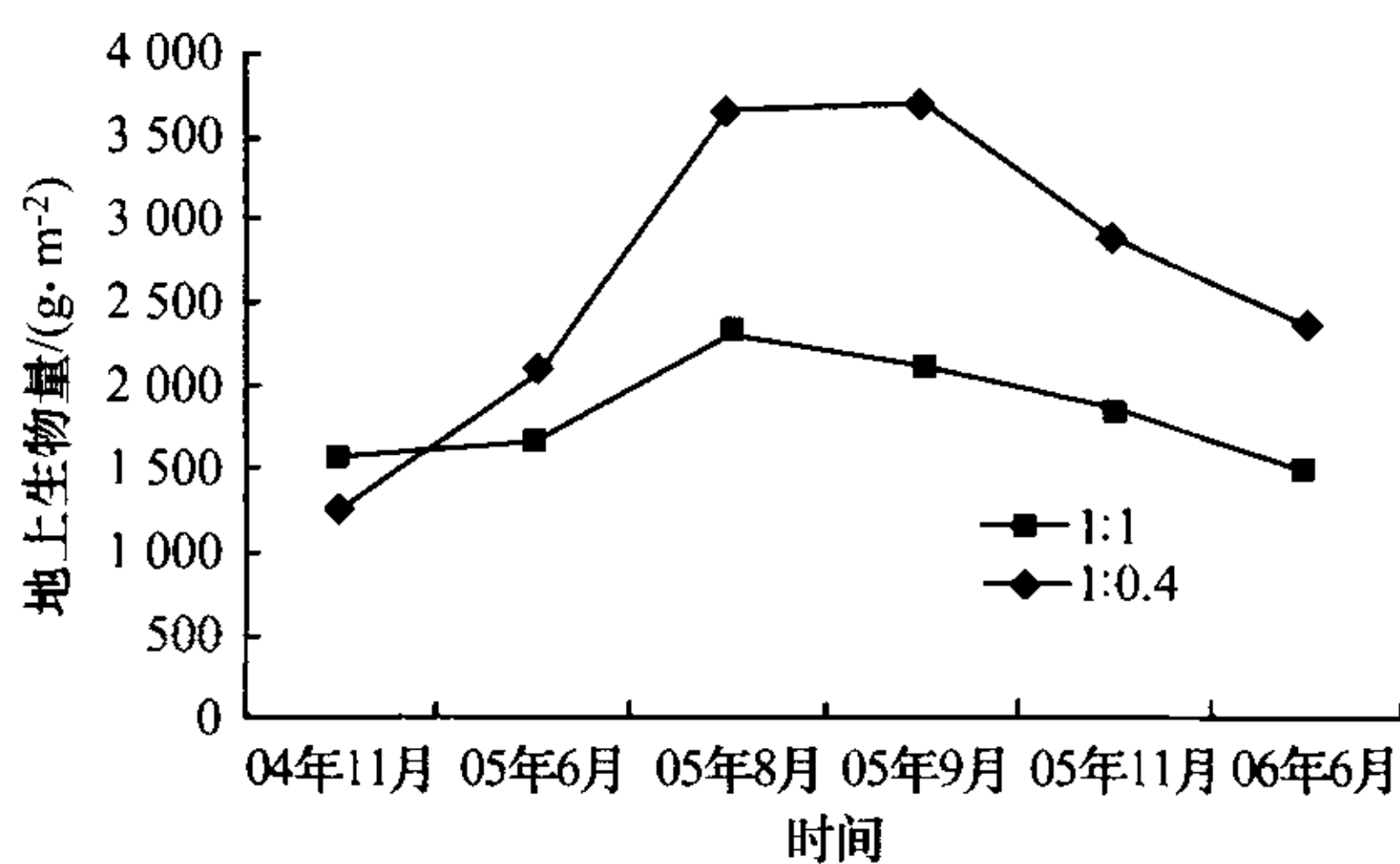


图5 不同坡比的植被地上生物量比较

Fig.5 Comparison of above-ground biomass on slopes with different slope ratio

试验中还发现, 坡比为 1:0.4 的边坡局部地段, 在 2005 年 11 月出现了客土层剥落的现象。而坡比为 1:1 的边坡客土层在坡面上附着良好, 未出现类似现象。由此可见, 坡比 1:0.4 对于客土喷播来说, 尽管也能建立一定的植被, 但不够理想。为了达到理想的



生态恢复效果，有条件的话应尽量放缓边坡。

3.4 客土喷播的特点

(1) 喷播前在坡面悬挂铁丝网并锚固，与植被一起能够对坡面起到良好的保护作用，避免坡面侵蚀和局部坍塌，特别有利于黄土边坡的稳定。

(2) 施工效率较高。边坡经过初步平整后即可施工，1 套设备 1 天可完成生态恢复面积 500 ~ 600 m<sup>2</sup>，从施工至养护成坪只需 30 ~ 45 d。

(3) 覆盖料和土壤稳定剂等的共同作用，在植被出苗前也能有效防止雨水冲刷，避免水土流失。

(4) 喷播设备的喷射功能强，并能加接软管，高陡边坡也可进行强制生态恢复。

(5) 生态恢复效果好。对于坡比为 1:0.4 的黄土边坡，生态恢复后植被覆盖率也可达到 90% 以上，实现坡面的全面生态恢复。

4 结论

(1) 陕西黄土地区属于干旱半干旱或半湿润气候，在这样的气候条件下，采取客土喷播技术，能够在黄土边坡快速地建立起良好的植被。

(2) 从试验情况看，植被经过了 2 个冬季、1 个夏季的考验，长势良好，说明客土喷播给植被创造了一个良好的生长基础，植物群落长势稳定。

(3) 坡比 1:0.4 对于客土喷播来说，尽管也能建

立一定的植被，但不够理想，当坡比为 1:1 时可以建立很好的植被。为了达到理想的生态恢复效果，有条件的话应尽量放缓边坡。

(4) 客土喷播技术在陕西黄土地区的应用是成功的，具有施工效率较高、生态恢复效果好、护坡效果显著等优点，可以在该地区推广应用。

参考文献:

[1] (日)安保昭.坡面生态恢复施工法[M].北京:人民交通出版社,1988.

[2] (日)仓田益二郎.生态恢复工程技术[M].成都:四川科学技术出版社,1983.

[3] 李旭光,毛文碧,徐福有.日本的公路边坡绿化与防护-1994年赴日本考察报告[J].公路交通科技,1995,12(2):59-64.

[4] 章梦涛,邱金淡,颜冬.客土喷播在边坡生态修复与防护中的应用[J].中国水土保持科学,2004,2(3):10-12.

[5] 安登奎,王玉宏.陕西黄土高原地区高速公路高陡边坡生态恢复技术[J].水土保持通报,2004(6):49-52.

[6] 沈毅,晏晓林,梁爱学,等.厚层基材喷播边坡防护技术研究[J].公路交通科技,2007,24(2):151-154.

[7] 杨喜田,董惠英,黄玉荣,等.黄土地区高速公路边坡稳定性的研究[J].水土保持学报,2000,14(1):79-80.

[8] 陈兵,任长久.铜黄公路边坡植被建植研究[J].公路,2004(11):127-129.

[9] 舒翔,杜鹃,等.客土喷播防护技术在惠河高速公路中的应用[J].公路环境保护,2003(2):92-95.

(上接第 154 页)

参考文献:

[1] 郭仁忠.空间分析(第二版)[M].北京:高等教育出版社,2001.

[2] FINGLETON B.Theoretical economic geography and spatial econometrics[J].dynamic perspectives.Journal of Economic Geography, 2001(1):201-205.

[3] 刘旭华,王劲峰,孟斌.中国区域经济时空动态不平衡发展分析[J].地理研究,2004,23(4):530-540.

[4] 管卫华,赵媛,林振山.改革开放以来江苏省区域空间结构变化[J].地理研究,2004,23(4):541-550.

[5] 鲁凤,徐建华.中国区域经济差异:来自 Gini 系数和 Theil 系数的实证[J].中国东西部合作研究,2004,1(1):60-85.

[6] 谢纯紫,周国屏.应用空间自相关分析人口老化时空变迁问题[J].人口学刊,2002,25:91-119.

[7] 肖为周,李旭宏,徐乃强.公路网规划信息系统中时空技术研究与应用[J].公路交通科技,2000,17(3):43-46.

[8] ROBERT HAINING.Spatial data analysis in the social and enviromental science[M].Cambridge University Press,2003.