

# 黄延高速公路边坡植被与土壤特性调查研究

张展<sup>1,2</sup>, 高照良<sup>1,2,3</sup>, 宋晓强<sup>4</sup>, 张兴昌<sup>1,2,3</sup>, 杨永峰<sup>5</sup>

(1. 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学  
资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 3. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100;  
4. 陕西省水土保持局, 陕西 西安 710004; 5. 山东省水利厅, 山东 济南 250013)

**摘要:** 采用现场调查、观测、试验等多种试验方法,对黄延高速公路绿化植物、边坡土壤理化性质以及植物群落组成进行了研究。通过分析,总结了中央分隔带、平台和边坡绿化植物种类以及边坡有效配置模式,分析了土壤养分贫瘠的原因和提高措施。在此基础上提出土壤肥力与植物恢复是相辅相成的,土壤肥力随人工植被建立时间的延长而逐渐恢复;随着时间序列的延长,其物种数目和比例也发生较大变化,有利于护坡植物群落最终实现结构稳定。

**关键词:** 高速公路; 植物群落; 土壤特性; 人工植被; 配置模式

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2009)04-0191-05

中图分类号: X820.3, U4

## Investigation of Slope Vegetation and Soil Properties on the Huangling—Yan'an Highway

ZHANG Zhan<sup>1,2</sup>, GAO Zhao-liang<sup>1,2,3</sup>, SONG Xiao-qiang<sup>4</sup>, ZHANG Xing-chang<sup>1,2,3</sup>, YANG Yong-feng<sup>5</sup>

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. College of Resources and Environmental Sciences, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China; 4. Shaanxi Provincial Bureau of Soil and Water Conservation, Xi'an, Shaanxi 710004, China; 5. Shandong Provincial Bureau of Water Resources Survey, Ji'nan, Shandong 250013, China)

**Abstract:** Based on in situ investigation, observation, and test, green plant, slope soil physical and chemical properties, and plant community composition on the Huangling—Yan'an Highway are studied. Through analyses, plant species in the central reserve, platform and slope, and the advanced allocation model are summarized and the reasons of soil nutrient pool and improving measures are analyzed. Accordingly, several relevant conclusions are made. Soil fertility and plant restoration is complement and soil fertility is gradually restored with time after artificial vegetation construction. The number and proportion of species have a great change with the passage of time, which is beneficial to plant community of slope to reach structural stability.

**Keywords:** highway; plant community; soil property; vegetation; allocation model

在公路工程建设中,经常要开挖大量边坡,破坏原有路域范围的植物覆盖层,导致出现大量的次生裸地以及严重的水土流失,并引发自然生态系统的退化<sup>[1]</sup>。因此,如何快速恢复因开挖边坡产生的生态环境破坏,实现坡面的长期植物保护,是我国 21 世纪公路建设中一个亟需研究和解决的课题<sup>[2-3]</sup>。

黄延(黄陵—延安)高速公路是国家规划建设西部开发 8 条公路干线之一。该线路所经地区多为水土流失重点区,自然环境十分脆弱<sup>[4]</sup>。如何在中西部地区公路建设中兼顾公路建设与生态保护,体现人与自然的和谐理念;如何认识和评估公路生态保护效

果,已逐步成为中国高速公路建设中倍受关注的热点问题<sup>[5-6]</sup>。

本研究选择对原有生态环境破坏较为严重的陕西省黄延高速公路为试验区域,探讨植被护坡的生态效果,为我国中西部地区道路边坡植物恢复与重建提供参考。

## 1 区域概况

黄延高速公路穿越黄土高原沟壑区、黄土丘陵沟壑区及黄土丘陵林区 3 个水土保持类型区,地貌以黄土高原典型的黄土塬、台、梁、峁、沟壑为主。项目区

收稿日期:2008-11-07

修回日期:2009-02-16

资助项目:陕西省水土保持局“线状工程建设水土流失防治技术示范推广研究项目”

作者简介:张展(1984—),男(汉族),河南省濮阳市人,硕士研究生,主要从事工程开发建设与水土保持研究。E-mail:zhangzhan0314021@163.com。

通信作者:高照良(1969—),男(汉族),河南省灵宝市人,博士,硕士生导师,主要从事土壤侵蚀与荒漠化研究。E-mail:gzl@ms.iswc.ac.cn。

平均海拔 1 200 m,年平均气温 9.0℃,年平均降水量 550~631 mm,年蒸发量 1 200~1 300 mm,属半干旱地带大陆性气候。主要地质基底为三叠纪——侏罗系层状基岩,上部覆盖第四纪黄土,中部夹少量第三纪较疏松土层,易崩塌,易侵蚀。区域内主要植被为天然次生林为主的灌木林和人工林,所涉及桥山、劳山两林区,为黄土高原最大的天然林次生林区子午岭—黄龙山林区的重要组织部分。

## 2 研究方法

### 2.1 现场考察

现场考察分 4 期进行。第一次在 2007 年 9 月初,考察黄延公路沿线气候特征,以及植被类型、边坡防护类型等。第 2 次在 2007 年 10 月中旬,跟随业主和水保专家一起对边坡防护类型的效果进行考察分析,对不同植物种和防护工艺效果进行鉴别和分析,并从中对植物的物种特性、边坡防护特征、施工工艺以及弃渣场处理模式做进一步的了解。第 3 次在 2008 年 4 月底,对洛川段、富县段、甘泉段、延安段等具有代表性的点位进行植物群落生态学和边坡防护状况考察,考察指标包括物种多度、生物量、高度、覆盖度、成活率、土壤营养特点、以及边坡侵蚀特点等。第 4 次在 2008 年 7 月初,再次对上次具有代表性的点位进行考察,观测植物生长情况。

### 2.2 相关数据的测定方法

(1) 植物采样的方法。选择植物生长均匀且具有代表性的固定公路坡面,从坡顶向坡麓在上、中、下部位各布设 1~2 个样方,进行样方调查。坡面土壤理化性质测定采用打土钻取样法,在 10 cm×10 cm×20 cm 土体上按照 0—10 cm,10—20 cm 深度取样。土样经自然风干、木棒压碎、过筛去除碎石、植物根系及昆虫尸体等处理。室内分析主要参照《土壤农业化学常规分析方法》进行。部分土样进一步过筛、研磨后,用重铬酸钾—外加热法测定土壤有机质,采用凯氏法测定土壤全 N,用氢氧化钠碱熔—火焰光度法测定土壤全 K,用硫酸—高氯酸消煮—锱抗比色法测定土壤全 P。

(2) 植被覆盖度的调查采用点测法。即将 1 m×1 m 的样方等分成 100 个 10 cm×10 cm 的小网格,对每个网格结点登记是否在点向地面的垂线方向被植物物体分布,最后统计有植物体分布的总结点数与所有网格结点数的比值,并以此作为覆盖度指标,用百分数表示。

## 3 植被选择依据和比较

### 3.1 选择依据

(1) 气候条件。光照、气温、湿度、降水、风等气

候条件都影响着边坡植物的生长发育,但是在选择边坡植物时主要应考虑的气候因素是气温和降水。最高气温和最低气温决定着植物能否正常生长发育,能否顺利越夏、越冬等;降雨(雪)的时期及雨量也是决定采用植物种类的重要依据。

(2) 土壤条件。土壤成分、肥力、土壤结构、酸碱性、盐碱性、土壤厚度等土壤因素与植物的生长发育密切相关,从而决定着边坡植物能否良好地生长。其中,在选择植物时,选择较重要的土壤肥力状况、土壤理化性质和土壤 pH 值等因素。

### 3.2 护坡植物比较

在黄土高原区公路边坡可用的植物种类较多,主要有草本植物、灌木以及乔木等。

(1) 草本植物。草本植物优点在于:草本植物种植不仅方法简便,而且费用低廉;早期生长快,对防止初期的土壤侵蚀效果较好;作为生态系统恢复的起点,有利于初期表土层的形成。

但是,草本植物与灌木相比具有以下缺点:草本植物具有根系较浅,抗拉强度较小,固坡护坡效果较差。在持续的雨季里,高陡边坡有的会出现草皮层和基层剥落现象;群落易发生衰退,且衰退后二次复植困难;开发利用的痕迹长期难于改变,与自然景观不协调,改善周围环境的功能较差等;坡地生态系统恢复的进程难于持续进行,易成为藤木植物滋生的温床;需要采取持续性的管理措施等,维护和管理作业量大。因此,单纯的草本植物用于公路边坡的绿化并不理想<sup>[11]</sup>。

(2) 灌木。灌木作为护坡植物主要的缺点是成本较高,早期生长慢,植被覆盖度低,对早期的土壤侵蚀防治效果不佳。但是可以通过与草本植物混播,草本植物早期迅速覆盖地面防治土壤侵蚀,后期由灌木发挥作用的方式解决。

(3) 乔木。目前我国的公路边坡一般坡度较大,坡比一般为 45°,有的甚至达到 60°以上,栽植乔木会提高坡面负载,增加土体下滑力和正滑力,在有风的情况下,树木把风力转变为地面的推力,造成坡面的不稳定和坡面的破坏<sup>[11-13]</sup>,同时,边坡栽植乔木还可能影响司乘人员观测公路两侧景观的视野,因此一般不宜在公路边坡栽植乔木。

## 4 结果与分析

### 4.1 植物种类及模式

在调查区域,植被营建模式主要以乔、灌、草混交的方式栽植。

从调查结果看,该路段用于中央分隔带的绿化植物主要有侧柏、圆柏、大叶黄杨、木槿、紫叶小檗等树种,空地种植黑麦草、高羊茅、三叶草、小冠花等草本

植物。其中侧柏、圆柏、大叶黄杨主要是绿篱式种植,起防眩作用;金叶女贞、紫叶小檗等主要用作镶边材料;而木槿等花灌木主要用作标志树;草坪则用于覆盖中央分隔带裸露的空地。这种配置模式不仅在空间上填补景观的不足,更使植物美化和水土保持作用得到充分发挥。其主要植物种类详见表1。

表1 黄延高速公路主要绿化植物种类

植物类别	植物名称
草本	高羊茅、小冠花、石竹、三叶地绵、紫云英、草木樨、沙蒿、冰草、黑麦草、月季、沙打旺、紫花苜蓿等
灌木	臭椿、紫薇、紫荆、紫叶小檗、合欢、火棘、榆叶梅、卫矛、丁香、凤尾兰、木槿、大叶黄杨、柠条、金叶女贞、紫叶李等
乔木	云杉、侧柏、千头柏、圆柏、白蜡、银杏、合欢、栾树、火炬树、柳树、刺槐等

公路路侧平台多采用乔、灌、草相结合,形成立体群落结构。乔木树种主要有刺槐、柳树、侧柏、云杉、火炬树等;灌木树种主要有紫叶李、木槿、月季等;地被植物主要有黑麦草、小冠花、三叶草等。乔灌草相结合,能很快形成比较稳定的保持水土、降低地表径流的植群落,营造多层次的混交林。

边坡植物必须耐贫瘠、耐干旱,根系发达,具有良好的水土保持功能,易于繁殖和维护。公路边坡绿化植物一般采用草本植物或灌木植物等。其中,草本植物植被覆盖度较高,但根系较浅且容易退化;灌木根系发达,固土能力强,具有较好的边坡防护和水土保

持作用。草灌木结合使用、科学配置,以充分发挥植物和环境资源的作用,取得最大的水土保持效果。经调查,表2所列应用模式在该地段长势良好。

表2 样点边坡的植被配置模式

点位	模式类型
K90+200	柠条 50% + 苜蓿 50%
K112+400	柠条 50% + 小冠花 50%
K135+200	黑麦草 25% + 无芒雀麦 30% + 沙打旺 20% + 苜蓿 25%
K155+600	高羊茅 30% + 冰草 40% + 草木樨 10% + 沙蒿 20%
K167+300	柠条 30% + 沙打旺 35% + 苜蓿 35%
K186+500	柠条 30% + 小冠花 35% + 苜蓿 35%

#### 4.2 土壤理化性质

在半干旱区,由于人为活动造成植被破坏,使地表裸露遭受风蚀,土壤层变薄,土壤形成发育受阻;再加上没有植物残体的归还,土壤有机质、微生物和土壤动物种类及数量减少,严重影响了土壤形成的速度和质量,甚至由于地表失去植被的保护或植被类型的改变,可能造成土壤发育方向或土壤类型的改变。土壤的有机质含量、养分供应是影响植被恢复的物质基础,土壤的肥力和植被恢复是相辅相成的,当植被得以恢复,土壤质量相应地得到改善,植被恢复过程是土壤理化性质改善的过程,也是土壤养分不断累积的过程<sup>[7]</sup>。

在该路段区域选择了3种护坡模式下的18个点,来对土壤养分进行测定(表3),其理化性质如表4所示。

表3 样点边坡概况

样点	路段	坡向	坡度/(°)	护坡模式	植物种类
1,2,3	K90+200	东坡	55	打孔植草	柠条+苜蓿
4,5,6	K112+400	西坡	62	打孔植草	柠条+小冠花
7,8,9	K135+200	东坡	65	挂网喷播	黑麦草+无芒雀麦+沙打旺+苜蓿
10,11,12	K155+600	西坡	61	挂网喷播	高羊茅+冰草+草木樨+沙蒿
13,14,15	K167+300	东坡	45	骨架植草(拱形)	柠条+沙打旺+苜蓿
16,17,18	K186+500	西坡	43	骨架植草(人字形)	柠条+小冠花+苜蓿

根据全国土壤养分分级标准(表5)和表4可知,该路段边坡土壤有机质和全N含量较低,速效P和速效K较丰富。造成有机质和全N低的原因是工程建设破坏了地表的植被,并间接增强了风蚀强度,从而大量地表土壤养分随风蚀物流失。土壤有机质含量少,会使容重增加,孔隙度降低,不利于土壤中水分和空气的有效运移以及肥料的协调转移,从而对草坪植物正常生长产生不利影响。可以通过适量增肥以保持土壤

C/N比在微生物需要的范围,因此减少土壤碳以CO<sub>2</sub>形式散失,来增加有机质含量。多年生饲草根系密植能有效地改变土壤结构,通过种植豆类作物增加土壤供氮能力。由于豆科牧草是深根作物(特别是苜蓿)可以起到自然深松土的作用。植物所需的土壤养分在生物小循环中,是一个积累与消耗的动态过程,影响养分状况的因素是多方面的,同时受人为措施的影响,造成土壤N,P,K含量变化的差异。

表 4 样点土壤理化性质

样点	水分/ %	容重/ (g·cm <sup>-3</sup> )	有机质/ (g·kg <sup>-1</sup> )	全氮/ (g·kg <sup>-1</sup> )	速效磷/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	速效钾/ (mg·kg <sup>-1</sup> )
A(1,2,3)	10.32	1.34	6.232	0.45	12.85	183.22
B(4,5,6)	10.54	1.37	6.219	0.44	12.93	184.65
C(7,8,9)	8.31	1.28	5.423	0.51	26.23	272.14
D(10,11,12)	8.26	1.27	5.436	0.52	26.41	273.54
E(13,14,15)	11.43	1.26	6.090	0.47	12.55	198.67
F(16,17,18)	11.21	1.25	6.150	0.46	12.64	200.53

注:理化性质均为样点平均值。

表 5 土壤养分分级指标

级别	有机质/ %	全氮/ %	速效磷(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	速效钾(K <sub>2</sub> O)/ (mg·kg <sup>-1</sup> )
1	>4	>0.2	>40	>200
2	3~4	0.15~0.2	20~40	150~200
3	2~3	0.1~0.15	10~20	100~150
4	1~2	0.07~0.1	5~10	50~100
5	0.6~1	0.05~0.075	3~5	30~50
6	<0.6	<0.05	<3	<30

土壤是生态系统诸多生态过程,如营养物质循环、水平衡、凋落物分解的参与者与载体,土壤结构与养分状况对于植物的生长起着关键性作用,直接影响植物群落的组成与生理活力,决定着生态系统的结构、功能和生产力水平,是生态系统功能恢复与维持的关键指标之一<sup>[8]</sup>。

#### 4.3 物种的发育

随着人工植被的定植,公路边坡土壤环境得到一定程度的改善,为物种的入侵创造了条件。一些 1 年生的先锋植物首先入侵,其生长迅速且生命期短,促进了土壤有机碳和养分的循环,是土壤肥力恢复的一个重要方面。随时间序列的延长,物种数量、植被覆盖度增加,群落经历了由简单到复杂的过程。在坡面人工建植沙打旺、冰草、柠条、老芒麦等植被后,人工植物群落开始形成,一些蒿类植物如猪毛蒿和铁杆蒿等侵入,除个别几个乡土植物生长迅速外,其它一般发育较慢。在 1 年的人工植被群落中物种数达到 7 种,而 2 年的人工植被群落中物种数达到 11 种(表 6)。紫花苜蓿、小冠花在改良土壤理化性,增加透水性,拦阻径流,防止冲刷,保持坡面减少水土流失的作用十分显著。由于柠条等固 N 灌木可显著提高土壤 N 水平,进而可以促进其他种的发育和生长。故多年生的柠条、紫花苜蓿、小冠花等出现并逐渐占有优势。

表 6 不同年龄人工植被植物群落组成

种名	生活型	1 a 生植枝		2 a 生植枝	
		高度/cm	相对盖度/%	高度/cm	相对盖度/%
沙打旺	多年生草本	8	8	35	12
老芒麦	多年生草本	32	20	40	10
柠条	灌木	35	5	65	18
小冠花	多年生草本	25	13	40	15
紫花苜蓿	多年生草本	15	15	35	14
冰草	多年生草本	40	15	28	6
高羊茅	多年生草本	8	10	18	7
草木樨	1 年生草本			40	10
沙蒿	多年生半灌木			60	4
猪毛蒿	1 年生草本			65	2
铁杆蒿	多年生草本			65	3
总盖度/%		74		85	

## 5 结论

(1) 公路绿化植物的选择应根据公路不同绿化区域的特点,选择适合生长的植物种类;同时要根据公路不同区域绿化的目的,选择能够满足功能要求的植物种类,以发挥公路绿化在安全驾驶、生态防护和景观美化中的作用。通过调查研究,总结了中央分隔带、平台及边坡绿化的植物种类和一些边坡绿化植物配置模式,可供绿化参考。

(2) 土壤肥力是土壤的本质特征,土壤的成土发育过程,正是土壤肥力由无到有、不断完善、不断发展的过程。人工植被建立后,土壤养分含量会逐渐增加,肥力得到提高<sup>[9]</sup>,土壤理化性状随种植时间的延长而得到明显改善。植被人工重建对土壤肥力的改善效应是生物和非生物因素共同作用的一个复杂的生态学过程<sup>[10]</sup>。

(3) 由于坡面植物种类组成及数目较多,其物种比例变化也发生了较大变化。初始设计播种物种无论从种类组成上,还是群落中所占的比例均处于优势地位,但第二年其物种表现出逐渐被淘汰或衰退的趋势。这主要是由于在护坡植物群落建植初期,坡面日照充足、土壤养分丰富,导致其迅速生长,但随着时间的推移,土壤养分在植物吸收和降水冲刷的作用下逐渐减少,植物物种的生长由于受到环境因子的限制逐渐退化。同时,当地自然物种像猪毛蒿、茵陈蒿等蒿类植物由于更加耐旱、耐贫瘠,与初始播种的一些耐旱耐贫瘠的植物,成为坡面的主要优势物种。这种变化过程可能体现了护坡植物群落的一般规律,即向当地自然植被的方向演替的特征。这种规律虽然可使护坡效果在一定阶段受到不同程度影响,但有利于护坡植物群落最终实现结构稳定,达到长期发挥生态防护作用。

## [ 参 考 文 献 ]

- [1] Morgan R R C, Rickson R J. Slope stabilization and erosion control: A Bioengineering Approach[M]. London: E. and EN. Spon., 1995.
- [2] 薛华清. 重庆地区高速公路边坡生态防护 [C] // 公路边坡及其环境工程技术交流大会论文集. 北京: 人民交通出版社, 2005: 340-343.
- [3] 黄晓霞, 江源, 顾卫, 等. 中国公路生态研究的国际比较及展望 [J]. 公路交通科技, 2004, 21(4): 165-168.
- [4] 李学勇, 陈志军. 黄延高速公路水土保持生态工程监理实践 [J]. 中国水土保持, 2005(6): 8-9.
- [5] Benedicte V, Francois P, Sandrine P Y, et al. Integrated assessment of heavy metal (Pb, Zn, Cd) highway pollution: bioaccumulation in soil, Graminaceae and land snails [J]. Chemosphere, 2004, 55:1349-1359.
- [6] 张湧, 刘璟, 张淑娥, 等. 宁夏古王高速公路边坡生物防护效益研究 [J]. 宁夏农学院学报, 2004, 25(3): 13-16.
- [7] 赵德志, 张兰军, 魏涛. 贵州喀斯特地区公路边坡生态恢复的环境影响因子研究 [J]. 公路交通技术, 2005, 10(5):133-136.
- [8] Tilman D, Wedin D, Knops J. Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystems [J]. Nature, 1996, 379: 718-720.
- [9] 余海龙, 顾卫, 江源, 等. 半干旱区高速公路边坡不同年代人工植被群落特征及其土壤特征研究 [J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(6): 22-26.
- [10] Mun H T, Whitford W G. Changes in mass and chemistry of plant roots during long-term decomposition on a Chihuahuan Desert watershed [J]. Biology and Fertile Soils, 1998, 26(1): 16-22.
- [11] 山寺喜成, 安保昭, 吉田宽. 恢复自然环境绿化工程概论: 坡面绿化基础与模式设计 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1997.
- [12] 周跃. 坡面生态工程基本原理探索 [J]. 应用生态学报, 2000, 11(2): 297-300.
- [13] 李旭光, 毛文碧. 日本的公路边坡绿化与防护 [J]. 公路交通科技, 1995, 12(2): 59-64.