河北廊坊－涿州高速边坡水热因子动态变化规律研究

骆 汉[1]，田 佳[2]，赵廷宁[1]，郭小平[1]

(1. 北京林业大学 水土保持学院，北京 100083；2. 宁夏大学 农学院，宁夏 银川 750021)

摘 要：水热因子是影响高速公路边坡绿化的关键因子。运用自记温湿度计、自计地温计和太阳辐射表等仪器于 2009 年 6 月至 2010 年 5 月对廊涿(廊坊—涿州)高速公路阳坡、平地、阴坡和中央隔离带的太阳辐射、地温和土壤水分等水热因子进行了观测。结果表明：(1) 不同地形条件下太阳辐射的日变化规律都满足二次曲线方程，地形对太阳直接辐射的影响不显著。(2) 不同地形条件下地温月变化均呈“余弦曲线”变化趋势。各地形条件下，40 cm 的地温条件都是最好的；各深度条件下，在 3—8 月中央隔离带的地温最高，9—12 月和 1—2 月阳坡的地温最高。(3) 不同地形条件下土壤水分月变化均呈波浪形。各地形条件下，20—40 cm 的土壤水分条件都是最好的；各深度条件下，中央隔离带的土壤水分条件都是最好的。

关键词：水热因子；动态变化；高速公路边坡

文献标识码：A **文章编号**：1000-288X(2013)03-0125-05 **中图分类号**：S278

Dynamic Variations of Hydro-thermal Factors on Langfang－Zhuozhou Highway Roadsides in Hebei Province

LUO Han[1], TIAN Jia[2], ZHAO Ting-ning[1], GUO Xiao-ping[1]

(1. *College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing* 100083, *China*; 2. *School of Agronomy, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia* 750021, *China*)

Abstract: Hydro-thermal factors is a key factors affecting the greening on highway slope. By using self-recording hygrometer, self-recording soil thermometer and other instruments, solar radiation, soil temperature and soil moisture were observed on sunny slope, ground, shady slope and central isolation belt along the Langfang—Zhuozhou highway from June 2009 to May 2010. Results show that: (1) The diurnal variations of solar radiation under different terrain conditions meet a quadratic curve. There was no significant impact of terrain on direct solar radiation. (2) The monthly variations of soil temperature are in a" cosine curve" shape under different terrain conditions. The soil temperature at 40 cm depth was the highest under different terrain conditions; and the soil temperature in central isolation belt was the highest from March to August, whereas the soil temperature on sunny slope was the highest from September to December and from January to February. (3) The monthly variations of soil moisture are in a wave shape under different terrain conditions. The soil moisture in 20—40 cm soil layer was the highest under different terrain conditions, and the soil moisture in central isolation belt was the highest at different depths.

Keywords: hydro-thermal factors; dynamic variation; highway slope

高速公路边坡绿化是公路生态建设中的重要组成部分，在公路边坡防护以及生态景观建设方面有着不可取代的重要作用。然而，由于高速公路为带状绿化，路线长，人工灌溉困难，很难满足幼苗在成活期间的水分供应，由干旱、连续高温导致的大片高速公路边坡植被长势衰弱、叶片发黄的情况屡见不鲜，直接影响了高速公路景观和生态环境[1]。因此，要解决高速公路绿化持续稳定发展这一问题，首先要了解高速公路边坡水热因子及其动态变化规律，才能够合理地选配植物与灌溉养护。

水热因子是影响植物生长的重要因素。黄德青等[2]研究表明，在水热条件较好的 7—8 月，5 类草地

收稿日期：2012-09-18 **修回日期**：2013-03-06

资助项目：林业公益性行业科研专项“建设工程损毁林地植被修复关键技术研究与示范”(200904030)；河北省廊涿高速公路管理处项目“廊涿高速中央分隔带绿化植物选择与栽培技术咨询”

作者简介：骆汉(1985—)，男(汉族)，山东省淄博市人，博士，主要研究方向为工程绿化，水土保持与荒漠化防治。E-mail：gylxjd@163.com。

通信作者：赵廷宁(1962—)，男(汉族)，河北省阳原县人，教授，博士生导师，主要研究方向为工程绿化，水土保持与荒漠化防治。E-mail：zhtning@bjfu.edu.cn。

地下生物量与水热因子的相关性均达极显著水平。张东杰[3]在三江源的研究表明,水因子对牧草产量起正向促进作用,热量因子对牧草产量起负向作用。针对特定的地形或土壤条件,通过对土壤水热因子的变化研究,可以得出不同耕作措施的效果或不同林地的土壤水热特征。王国宏等[4]对甘肃木本植物区系生活型和果实类型构成式样与水热因子做了相关分析。徐胜光等[5]研究了地表覆盖及等高线种植玉米对坡地红壤的水热生态效应。有关水热状况分布规律、动态变化的基础研究较多[6-9],然而,针对高速公路边坡水热因子动态变化规律的研究却相对较少。因此,本文通过对廊涿(廊坊—涿州)高速公路阳坡、平地、阴坡和中央隔离带的太阳辐射、地温、土壤水分等气象因子的观测,对高速公路边坡水热因子的动态变化规律进行了研究,为高速公路的绿化和生态环境建设提供基础资料和科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究地位于廊涿高速公路中部的固安县,处于河北平原,地理坐标为东经 116°07′—116°27′,北纬 39°08′—39°30′。固安县属暖温带半湿润大陆性季风气候,一年四季分明。干寒同期,雨热同期,光照充足,温差较大,雨量偏小而集中,年平均降水量 561.9 mm(33 a 平均值)。土壤成土母质为永定河冲积—淤积母质类型,颗粒较粗,沙黏相间,土壤有机质含量低,缺磷少氮,钾也不丰富,且氮磷比例严重失调。沿线主要植物有狗尾草(*Setaria viridis*)、五叶地锦(*Parthenocissus quinquefolia*)、葎草(*Humulus scandens*)、白莲蒿(*Artemisia sacrorum*)、藜(*Chenopodium album*)、蒺藜(*Tribulus terrester*)、猪毛蒿(*Artemisia scoparia*)等。

1.2 研究方法

试验区位于廊涿高速公路固安东收费站附近,分为 A,B,C,D 4 个试验点。A(39°25′20.3″N,116°24′24.0″E,H:18 m)为阴坡试验点;B(39°25′19.1″N,116°24′23.5″E;H:18 m)为阳坡试验点;C(39°25′18.9″N,116°24′22.9″E;H:17 m)为平地试验点;D(39°25′20.9″N,116°24′23.9″E;H:22 m)为中央隔离带试验点。试验点土壤及植被状况如表 1 所示。

土壤水分采用烘干法测定,阴坡和阳坡每次取样时按照坡上、坡中、坡下分别取样,每个坡面 9 个采样点,平地和中央隔离带按照对角线法各取 9 个采样点,深度分别为 0—10 cm,10—20 cm,20—40 cm,每月测定 5 次。地温在 2009 年 6 月—2010 年 5 月使用日本产 Quartz 自计地温计(7d 型)连续自动记录,并配套布设相同深度的直管地温计以校正自记地温计,观测深度均分为 10,20 和 40 cm。太阳辐射使用 DFY1 型直接辐射表,选择典型晴日进行观测。

表 1 试验点土壤及植被状况

项 目	土壤容重/(g·cm^{-3})	土壤孔隙度/%	主要植被	植被盖度/%
阴 坡(A)	1.21	54.43	狗尾草	51.05
			葎 草	26.03
阳 坡(B)	1.25	52.73	狗尾草	39.61
			猪毛菜	23.42
			灰 菜	18.33
平 地(C)	1.36	48.61	葎 草	56.27
			狗尾草	17.31
中央隔离带(D)	1.18	55.58	狗尾草	80.00
			灰 菜	18.00

1.3 数据分析

运用 PASW Statistics version 18.0 (SPSS, Inc. 2009)软件对土壤水分、地温和太阳辐射数据进行了回归分析和方差分析。

2 结果与分析

2.1 太阳直接辐射动态变化规律及地形影响

图 1 是太阳直接辐射的日变化。从图 1 中可以看出,阳坡、平地、阴坡的太阳直接辐射强度都呈明显的两低一高的单峰曲线变化,也就是早晚小、中午大的变化规律。这是由于太阳高度角从早上开始逐渐增大,太阳垂直穿过大气层厚度最小,所以太阳垂直面上的光线强度也随之增强的缘故。太阳直接辐射在一天当中的最大值出现在正午前后,大约在 11:00—13:00。

另外,太阳直接辐射在上午上升过程中的速度和下午的下降速度比较快,而在正午前后变化则相对缓慢。这是由于在太阳高度角较低的早晚时刻,大气质量改变迅速,垂直光线面上的辐射强度变化较快。正午前后时,大气质量相对稳定,直接辐射强度的变化也就相对较慢,对应时段的曲线变化也就相对比较平缓[10]。通过计算,阳坡、平地和阴坡的直接辐射日总量分别为 3.15×10^7,3.14×10^7 和 3.05×10^7 J/m^2,阳坡最高,阴坡最低,阳坡比阴坡高出3.2%。

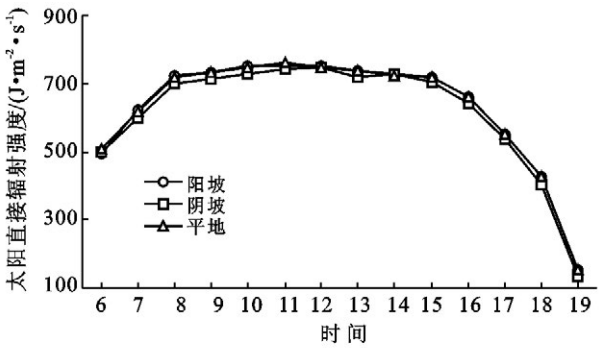


图 1　直接辐射的日变化规律(2009 年 6 月 10 日)

通过数形结合的分析方法对太阳直接辐射的日变化规律进行分析,曲线拟合得出各观测点处太阳直接辐射日变化规律均可由二次曲线方程来表示:

$S_{阴}=383.1+132.17t_i-10.041t_i^2$, $R^2=0.938\ 9$ (1)

$S_{平}=396.34+129.34t_i-9.899t_i^2$, $R^2=0.941\ 3$ (2)

$S_{阳}=-105.576+223.277t_i-15.067t_i^2$, $R^2=0.948\ 0$ (3)

式中:S——太阳直接辐射强度 J/(m² · s);t_i——白天的各个时刻;R^2——决定系数。

由式(1)—(3)中可以看出,决定系数(R^2)均大于 0.9,拟合效果较好。

为了确定高速公路地形因素是否对太阳辐射有显著影响,对阳坡、平地和阴坡的直接辐射进行了单因素方差分析,p 均明显大于给定的显著水平 0.05($p=0.311,0.505,0.318>0.05$),表明地形对于廊涿高速公路太阳直接辐射的影响不大。

2.2　地温动态变化规律及地形影响

2.2.1　*地温月动态变化规律*　总体上看,廊涿高速不同地形下地温的月变化均呈现出明显的"余弦曲线"变化趋势(图 2)。

这种规律与气温的变化规律相似,说明浅层土壤温度的变化与气温的变化是密切联系的,但是存在一定的滞后现象[11-12]。

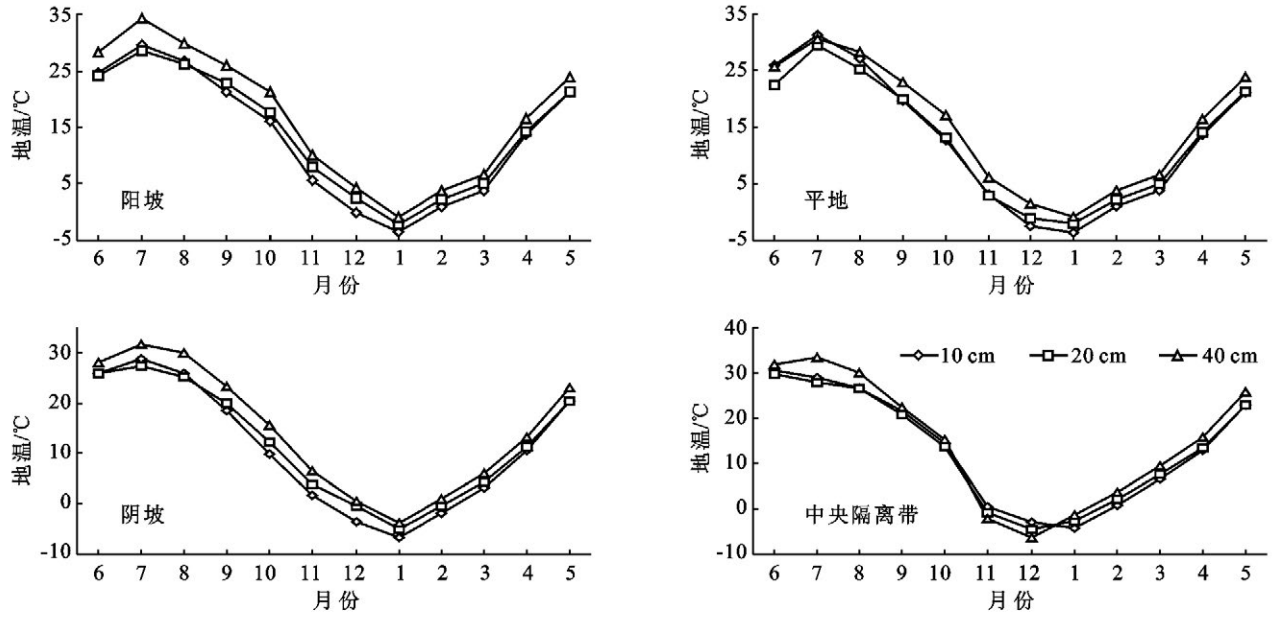


图 2　各观测点地温月变化规律

3—8 月中央隔离带均温(22.7 ℃)>阳坡(21.0 ℃)>平地(20.6 ℃)>阴坡(20 ℃);9—12 月和 1—2 月,阳坡(8.6 ℃)>平地(6.4 ℃)>阴坡(5.1 ℃)>中央隔离带(5.0 ℃)。阴坡地温虽然较低,但变幅较小。这是由于阴坡的植被条件比较好,植被改变了小气候,尤其是对近地表的温度作用更明显,阻止了温度的骤然升降。最低地温出现在 12 月的中央隔离带(−6.3 ℃)。

40 cm 地温在 3 个深度中是最高的,10 cm 和 20 cm地温受气温变化影响较大。10 cm 和 20 cm 地温表现出了 2 种地温序列,将从地表开始随着深度增加地温降低的地温序列称为正地温序列,反之称为反地温序列。在正地温序列中,上层土温度高于下层土,表现为能量的向下补给(储蓄能量),反地温序列则表现为下层土的能量向上层土补给(释放能量)[13]。廊涿高速公路各地形条件下,5—8 月表现为正地温序列,1—4 月和 9—12 月表现为反地温序列。另外,地形对各深度的地温影响比较明显,不同地形条件下各深度的地温基本上是 7 月最高,1 月最低。

2.2.2　*地形和深度对地温影响的双因素方差分析*

为了确定高速公路地形以及深度因素是否对地温有显著影响,对阳坡、平地、阴坡和中央隔离带不同深度

的地温进行了双因素方差分析。如表 2 所示，地形和深度 2 个因素对地温都有显著影响（$p=0.003$；$0.001<0.05$）。

表 2 不同地形与深度条件下地温的方差分析结果

来 源	偏差平方和	均方差	F 值	p 值
校正模型	54.680	9.113	11.801	0.001
截 距	5 760.810	5 760.810	7 460.042	0.000
地 形	24.125	8.042	10.414	0.003
深 度	30.555	10.185	13.189	0.001
误 差	6.950	0.772		
总 和	5 822.440			

注：p 值指概率；F 值指 F 检验统计量；相关系数 $R^2=0.887$；校正总和为 61.630。

2.3 土壤水分动态变化规律及地形影响

2.3.1 土壤水分月动态变化规律 由不同深度土壤水分月变化规律（图 3）可以看到，在 0—10，10—20 和 20—40 cm，中央隔离带的土壤水分条件都是最好的，平地土壤水分条件较差。中央隔离带土壤水分比平地土壤水分在 0—10，10—20，20—40 cm 深度下分别高 78.4 %，99%，106.7%，可见，深度越深中央隔离带的土壤水分条件就越好，深度对土壤水分的影响比较明显。在 0—10，10—20 cm 深度下，阳坡和阴坡的土壤水分差距不大，但是在 20—40 cm，阳坡和阴坡土壤水分差距较大（平均差 14.19%）。同时，20—40 cm 的土壤水分条件较好，其次是 10—20 cm 和 0—10 cm。这主要是由于沙地土壤表层蒸腾强烈，易于失水[14]。土壤含水量的这种垂直梯度变化，主要是由于降雨入渗分布与土壤水分向上蒸发的综合作用[15-16]。

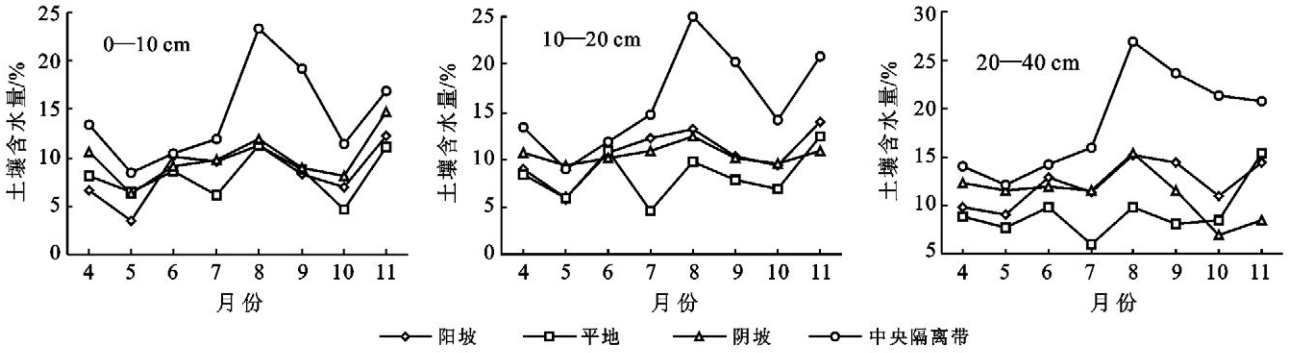


图 3 各深度土壤水分月变化规律

另外，表层（0—10 cm）土壤水分的变化较大，而下层（20—40 cm）土壤水分变化较小，反映出降雨和蒸散对表层土壤水分的影响较大，对下层土壤水分的影响相对较小。土壤含水量的这种垂直梯度变化可用变异系数来具体描述[17]（表 3）。因而，廊涿高速公路土壤水分的垂直梯度变化可以此进行如下层次划分：（1）速变层（0—20 cm），土壤水分受降水和蒸发的影响，变化相当剧烈，具有接纳雨水快、蒸发快和干湿变动频繁的特点，该层对植物生长影响较大，土壤水分的变异系数（C_V）为 24%以上。（2）活跃层（20—40 cm），土壤水分变化明显减弱，主要受降雨和植物耗水状况的影响，该层植物生长可以利用的水分多，是植物根系的密集层，土壤水分的变异系数 C_V 在 20%以下。

表 3 不同地形和深度下的土壤水分变异系数

深度/cm	C_V/%				
	阳坡	平地	阴坡	中央隔离带	平均值
0—10	19.71	33.52	27.31	33.02	28.39
10—20	15.22	32.32	23.60	28.25	24.85
20—40	13.55	31.58	9.30	23.20	19.41

中央隔离带的土壤水分条件最好，平地土壤水分条件较差。通过在平地挖土壤剖面，发现在平地 50 cm以下多为高速公路建筑弃渣，主要组成物为混凝土块，漏水漏肥，这与平地较差的土壤水分有直接原因。另外，廊涿高速公路引入美国新泽西州中央隔离带即新泽西式砼护栏，也是中央隔离带土壤水分较好的原因之一[18]。

高速公路边坡采用的六棱砖护坡能起到一定的蓄水和防风作用，这也是阴坡和阳坡土壤水分高于平地的原因之一主要原因[19]。

2.3.2　地形和深度对土壤水分影响的双因素方差分析　对不同地形(阳坡、平地、阴坡、中央隔离带)和不同深度(0—10,10—20,20—40 cm)的土壤水分的方差分析结果(表 4)表明,地形和深度对土壤水分的影响达到显著水平($p=0.019,0.000<0.05$)。

表 4　不同地形和深度对土壤水分影响的双因素方差分析

来源	偏差平方和	均方差	F 值	p 值
校正模型	937.330	85.212	6.795	0.000
截距	11 390.207	11 390.207	908.278	0.000
深度	105.125	52.563	4.191	0.019
地形	796.007	265.336	21.158	0.000
误差	902.912	12.540		
总和	13 230.449			

注:校正总和为 1 840.242;$R^2=0.509$。

3　结 论

(1) 廊涿高速不同地形条件下太阳辐射的日变化规律都满足二次曲线方程,且拟合程度较高。太阳直接辐射日变化呈明显的两低一高单峰曲线变化。另外,廊涿高速的地形因素对太阳直接辐射的影响不显著。

(2) 廊涿高速不同地形条件下地温的月变化均呈"余弦曲线"变化趋势。各地形条件下,40 cm 的地温条件都是最好的;各深度条件下,在 3—8 月中央隔离带的地温最高,9—12 和 1—2 月阳坡的地温最高。

(3) 廊涿高速不同地形条件下土壤水分月变化均呈波浪形。各地形条件下,20—40 cm 的土壤水分条件都是最好的;各深度条件下,中央隔离带的土壤水分条件都是最好的。廊涿高速公路土壤水分变化划分为 2 个层次,即速变层(0—20 cm)和活跃层(20—40 cm)。

[参 考 文 献]

[1] 杨勇,曹斌,王荣印. 保水剂在公路绿化中的应用技术研究[J]. 华东公路,2002(3):74-76.

[2] 黄德青,于兰,张耀生,等. 祁连山北坡天然草地地下生物量及其与环境因子的关系[J]. 草业学报,2011,20(5):1-10.

[3] 张东杰. 水热因子对三江源高寒草地牧草产量的影响[J]. 贵州农业科学,2011,39(1):181-183.

[4] 王国宏,周广胜. 甘肃木本植物区系生活型和果实类型构成式样与水热因子的相关分析[J]. 植物研究,2001,21(3):448-455.

[5] 徐胜光,黄必志,刘立光,等. 地表覆盖及等高线种植玉米对坡地红壤水热生态效应研究[J]. 云南农业大学学报,2002,17(3):220-224.

[6] 王石立,庄立伟,王馥棠. 近 20 年气候变暖对东北农业生产水热条件影响的研究[J]. 应用气象学报,2003,14(2):152-164.

[7] 黄奕龙,陈利顶,傅伯杰,等. 黄土丘陵小流域沟坡水热条件及其生态修复初探[J]. 自然资源学报,2004,19(2):183-189.

[8] 吴青柏,沈永平,施斌,等. 青藏高原冻土及水热过程与寒区生态环境的关系[J]. 冰川冻土,2003,25(3):250-255.

[9] 杨桂芳,彭红霞,李长安,等. 西北地区水热条件分析及生态恢复对策[J]. 西北地质,2001,34(4):9-15.

[10] 胡列群. 塔克拉玛干沙漠及周围地区直接太阳辐射研究[J]. 干旱区研究,1996,13(3):5-12.

[11] 关德新,吴家兵,金昌杰,等. 用气象站资料推算附近森林浅层地温和气温[J]. 林业科学,2006,42(11):132-137.

[12] 王宝军,施斌,姜洪涛,等. 近 30 a 南京市浅层地温场变化规律研究[J]. 高校地质学报,2009,15(2):199-205.

[13] 邹文秀,韩晓增,王守宇,等. 黑土区土壤剖面水分动态变化研究[J]. 水土保持通报,2009,23(3):130-132.

[14] 卜耀军,张雄,艾海舰,等. 陕蒙高速公路主要绿化树种土壤水分时空变化研究[J]. 西北林学院学报,2008,23(6):29-32.

[15] 张仁陟,李小刚,胡华,等. 甘肃黄土地区农田土壤水分变异规律研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报,1998,4(4):53-59.

[16] 崔灵周,丁文峰,李占斌. 紫色土丘陵区农用地土壤水分动态变化规律研究[J]. 生态环境,2000,9(3):207-209.

[17] 李开元,韩仕峰. 陕北黄土丘陵沟壑区旱地土壤水分动态[J]. 水土保持通报,1990,10(6):21-25.

[18] 魏义长,康玲玲,王云璋,等. 水土保持措施对土壤物理性状的影响:以黄土高原水土保持世界银行贷款项目区为例[J]. 水土保持学报,2003,17(5):114-116.

[19] 王晓东,张洪江,李猛,等. 高速公路建设中不同边坡风力侵蚀特性:以银武高速公路同心至固原段为例[J]. 水土保持通报,2007,27(3):97-101.