

文章编号:1006-2106(2015)09-0019-06

延安地区黑沙蒿生长特征及护坡效应研究^{*}

许 锐^{1**} 郭 璐¹ 李寻昌¹ 董 琪²

(1. 长安大学, 西安 710054; 2. 信息产业部电子综合勘察研究院, 西安 710054)

摘要:研究目的:黑沙蒿是黄土边坡生态恢复与重建的优良树种,研究黑沙蒿在黄土边坡植被群落结构中的生长特征,对黄土边坡稳定性及生态恢复有着重要意义。本文基于对延安地区黄土边坡主要优势植物黑沙蒿的调查,通过植物科属分布及密度、黑沙蒿在边坡植被群落结构中的生长特征以及 Simpson 指数等分析,研究黑沙蒿的护坡效应,为延安地区黄土边坡复合型生态防护提供可靠依据。

研究结论:(1)延安地区植物物种多样性处于中等偏下水平,基本符合黄土高原半干旱地区的边坡植被组成特征;(2)黑沙蒿由于耐寒耐旱及适生性强,成为延安地区黄土边坡主要植物物种;(3)随着坡度增大和土壤湿度降低,黑沙蒿数量相应减少,但优势度相应增大;(4)基于黑沙蒿护坡效应的分析,提出了各坡度下适宜的初期护坡植物物种及相应的工程结构措施;(5)本研究成果可为西北黄土边坡生态防护技术提供指导。

关键词:黑沙蒿;黄土边坡;生长特征;护坡效应;植被群落结构

中图分类号:TU45 文献标识码:A

Research on the Growth Characteristics and Slope Protection of *Artemisia Ordosica* in Yan'an Area

XU Rui¹, GUO Lu¹, LI Xun-chang¹, DONG Qi²

(1. Chang'an University, Xi'an, Shaanxi 710054, China; 2. Electronic Comprehensive Surveying Institute, Ministry of Information Industry, Xi'an, Shaanxi 710054, China)

Abstract: **Research purposes:** *Artemisia ordosica* is the suitable species for ecological restoration. Studying of dominant families and genera as well as growth characteristics plays an important role in loess slope stability and ecological restoration. Based on the investigation of local natural growth dominant plant *artemisia ordosica* on loess slope in Yan'an area, though the statistics of vegetation density, growth characteristics, and Simpson index of *artemisia ordosica* of loess slope, the loess slope protection of *artemisia ordosica* is presented, which provides a reliable basis for the design of compound ecological protection to loess slope in Yan'an area.

Research conclusions: (1) The vegetation species diversity is below the medium level in Yan'an area, which accords with the slope vegetation composition characteristics of loess plateau semiarid areas. (2) *Artemisia ordosica* is the main varieties of loess slope vegetation due to its drought and freezing tolerant. (3) The *artemisia ordosica* quantity decreases with the increase of gradient or the decrease of soil moisture, but the relative dominance of *artemisia ordosica* on loess slope increases. (4) Based on the analysis of slope protection of *artemisia ordosica*, the selection of vegetation type and structural design of eco-engineering for loess slope protection under different slope gradients are suggested. (5) The

^{*} 收稿日期:2015-05-29

基金项目:陕西省科学技术研究发展计划项目(2014K13-02);长安大学中央高校基本科研业务费专项资金项目(2013G1261062);国家自然科学基金项目(41572261)

^{**} 作者简介:许锐,1981年出生,男,讲师,博士后。

research results can be the guidance for loess slope ecological protection technology in northwest China.

Key words: artemisia ordosica; loess slope; growth characteristics; slope protection; vegetation community structure

延安位于黄河中游,属黄土高原丘陵沟壑区,区内地形破碎、沟壑纵横,加之“削山造城”的新城建设,对自然生态环境造成一定破坏,形成大量填挖方边坡,极易诱发各种地质灾害^[1-2]。作为目前世界上在湿陷性黄土地区规模最大的岩土工程,延安新区建设从规划到开工建设的过程中,对其施工合理性和安全性的质疑一直不断^[3]。传统的刚性边坡防护技术在安全上可以满足工程建设的需要,但造价高且破坏了自然环境的协调。在降雨集中季节,对于湿陷性黄土边坡,由于墙后土体浸水后的湿陷性破坏,易引发潜蚀性冲刷破坏,致使刚性防护工程失效。伴随着可持续发展战略和山川秀美工程的提出,植被护坡技术作为一种柔性防护措施,以其低成本、开放式、三维立体化受到极大的重视^[4-5]。

植物护坡研究方向主要有植物生长对坡体中孔隙水压力的影响^[6]、植物浅根的加筋和深根的锚固作用^[7]及茎叶防冲刷侵蚀效应^[8]等方面,研究方法主要以调查、试验和理论分析为主。由于植物地域差异性,野外调查是特殊环境条件下植物护坡最直接有效的研究方法,并且是理论和试验研究的基础。但国内现有调查研究多集中在中东部湿润地区,针对西北黄土地区特殊地质、气候和地形特点的植被调查研究却相对较少,所以目前西北黄土边坡植物护坡研究多数仍处在定性分析阶段。本文以延安地区黄土边坡优势树种黑沙蒿为对象,通过实地调查、统计、分析等方法,研究黑沙蒿的生长特征和分布规律,分析黑沙蒿的护坡效应,为延安地区黄土边坡复合型生态防护技术提供理论支撑。

1 调查概况及研究方法

1.1 调查概况

延安是黄河流域水土流失最严重的地区之一,严重的水土流失造成土壤肥力下降、生态环境恶化、自然环境脆弱。近年来,延安地区边坡治理逐渐意识到边坡生态系统的重要性,但在具体实施过程中,边坡生态防护的问题越来越被暴露出来:延安地区黄土具有多孔性、透水性强的特点,边坡坡度较陡时,导致初期植被建植困难,后期植被易出现严重退化,一些边坡甚至出现在建植前期覆盖度能达到 50% 以上,但是到了后期植被难以在高陡边坡繁殖生长,导致滑坡或植被枯死、边坡裸露、土壤侵蚀、水土流失严重等问题。故在

延安地区采用植物护坡技术存在以下三种困难:一是,在干旱季节,由于边坡土壤缺水,植物成活率低;二是,在暴雨季节,由于冲刷严重,草种和幼苗不易附着;三是,边坡缺少植物生长的基质,水分、养分流失过快。

1.2 研究方法

此次调查时间为 2014 年 7 月至 8 月,历时 20 多天。调查范围以延安市为中心,并考虑地形地貌特点,向周边县乡扩展,共调查自然边坡 323 个。

对于每个调查点,调查步骤如下:

第一步:对于每个调查的自然黄土边坡,选择植物生长均匀且具有代表性的稳定坡面,在距离坡脚 1.5 m 以上、距离坡顶 1.5 m 以下部分设定 1 m × 1 m 范围的样方作为调查样本;

第二步:对于每个调查样本,首先用 GPS 定位经纬与海拔,然后用罗盘测出坡度与坡向,其次辨别调查样本中的植被类型;

第三步:开挖边坡 40 cm 以上,观察植被根系发育情况,并对坡体内部的黄土类型、湿度以及黄土边坡类型进行辨别;

第四步:在调查记录表中记录植被类型、植被数量、植被高度、覆盖率、土壤侵蚀、土壤湿度等;

第五步:拍摄调查照片。

最终整理的调查记录表如表 1 所示。

表 1 野外调查表

地点	楼坪至南沟乡道	地貌	中低山
坡度/坡向	72°/85°	海拔/m	1 073
E	109°18'12.8"	N	36°37'4"
土壤侵蚀	雨水	土壤湿度	稍湿
优势树种	黑沙蒿	覆盖率	40%
土壤类型	坡积黄土,黄褐色,3~4 cm 以下黄土较密实,有植被的地方土壤软、均匀、密实,接近塑性	植被名称/数量/高度	黑沙蒿/12/30 枣树/1/50

注:高度单位为 cm。

2 调查分析

2.1 群落结构分析

植被群落结构是植物群落最基本的特征之一,是衡量群落功能及结构的一个重要指标。物种丰富度的增加,能有效提高边坡的水土保持能力。本次调查共辨认出 33 种主要植被:

草本 15 种:其中黑沙蒿出现 235 次,臭蒿 145 次,白莲蒿 83 次,黑麦草 79 次,紫花苜蓿 121 次,结缕草 117 次,五芒雀麦60 次,臭草 161 次,狗尾草 172 次,野菊花 46 次,蒲公英 111 次,灰灰菜 117 次,芦苇 60 次,牛荆草 39 次,草木犀 46 次;

灌木类 9 种:其中迎春出现 46 次,紫穗槐 7 次,柠条 7 次,胡枝子 4 次,荆条 16 次,杞柳 32 次,沙地柏 4 次,松树 2 次,狼牙刺 5 次;

乔木类 8 种:其中火炬树出现 9 次,泡桐 31 次,野核桃树 13 次,槐树 11 次,榆树 133 次,枣树 109 次,椿树 77 次,苹果树 66 次;

藓类 1 种:出现 9 次。

此次调查发现的植物种类基本符合西北黄土地区植物群落的层次结构。由于陕北黄土高原特殊的环境条件,延安地区边坡植物主要以耐寒耐旱耐贫瘠的品种为主,所以植物种类较少,植被群落结构较单一。在调查过程中,蒿属植物虽然仅有三种,即黑沙蒿、臭蒿和白莲蒿,但以黑沙蒿为代表的蒿属植物由于其在黄土边坡上极强的适应性,在调查中出现次数最多,为延安地区黄土边坡植物的优势属。通过对黑沙蒿、臭蒿和白莲蒿的数量统计,得到三者占蒿属植物总数的比重分别为 85.66%、11.19% 和 3.15%,黑沙蒿数量在蒿属植物中占统治地位。

2.2 黑沙蒿生长特征分析

植物生长情况与边坡生境直接相关。边坡植被群落特征受边坡高度、坡向、坡度,以及调查区域地形和水文地质条件等因素共同影响,难以用某单一因素的影响来解释。图 1 为边坡高度与黑沙蒿数量关系的统计图,其线性拟合函数为 $y = x + 18$,可见黑沙蒿数量随着边坡高度增大呈现相应增长趋势,说明由于不同高度边坡渗流路径不同,高度大的边坡具备更好的储水能力,更有利于植被生长。但是图 1 中统计数据分布比较离散,其数据相关系数仅为 0.324 1,整体规律并不明显,主要是因为边坡高度仅仅是影响坡体土壤水分和养料条件的因素之一,坡向、坡度、区域地形和水文地质条件、人类活动等因素均会对边坡生境造成影响,所以在此次调查分析中,以边坡开挖后记录的坡体内部的“土壤湿度”来表示边坡高度、坡向、坡度、区域水文地质条件等因素对边坡土壤,特别是深层土壤储水储养能力的综合影响,更适合调查的实际情况。

相对于坡体深层土壤湿度,边坡坡度对浅表层土壤储水与植被附着能力的影响更为明显。图 2 为边坡坡度、土壤湿度与黑沙蒿数量统计图,可见黑沙蒿数量随着坡度增大和土壤湿度降低呈明显线性减少趋势。

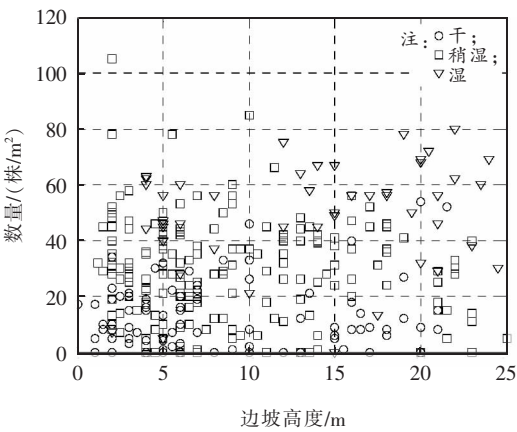


图 1 边坡高度 - 土壤湿度 - 黑沙蒿数量关系统计图

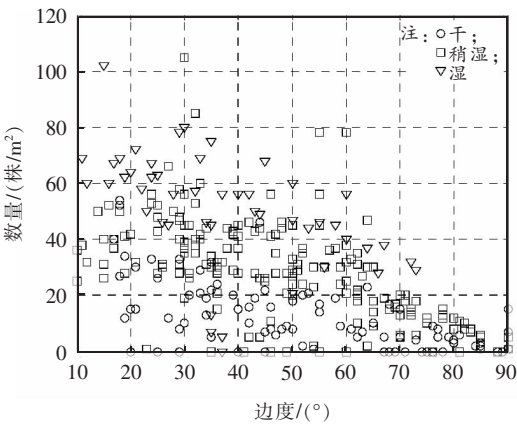


图 2 坡度 - 土壤湿度 - 黑沙蒿数量关系统计图

首先,边坡土壤湿度是影响黑沙蒿数量的重要因素,相同坡度下,土壤湿度越大,植被数量越多;其次,坡度越大,表层土壤保水能力及植物附着能力相应降低,故黑沙蒿数量呈线性减少。

植物生长特征参数除单位面积植物数量、植物平均高度和根系平均分布范围外,一般还包括乔木的胸径、郁闭度,灌木的地径、盖度,以及草本的盖度等。图 3 为边坡坡度、土壤湿度与黑沙蒿平均高度统计图,可见黑沙蒿高度随着坡度增大和土壤湿度降低呈明显降低趋势,这与图 2 中黑沙蒿数量的统计规律及原因基本一致。由于各生长特征参数主要受边坡生境的影响,所以各参数之间联系密切。一般而言,边坡生境越好,植物生长特征参数均会呈增大趋势,如图 4 所示,各边坡上的黑沙蒿平均高度与单位面积数量即呈相关关系。

2.3 黑沙蒿优势度分析

从研究植物群落出发,物种多样性是指一个群落中物种数目和各物种的个体数目分配的均匀度。本文

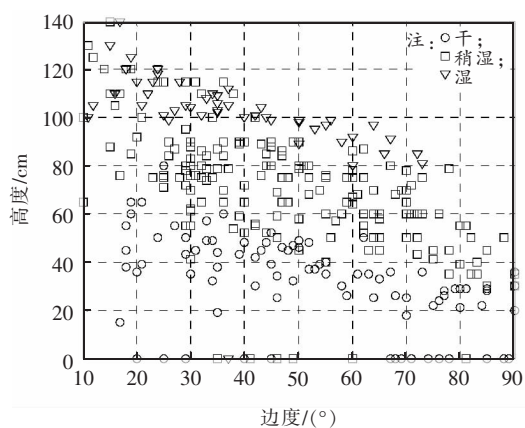


图3 坡度-土壤湿度-黑沙蒿高度关系统计图

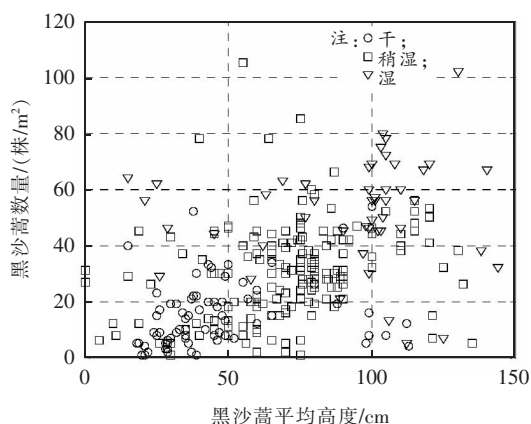


图4 黑沙蒿平均高度-数量关系统计图

通过各边坡物种 Simpson 指数来定量分析延安地区黄土边坡的物种多样性。Simpson 指数又称优势度指数,是对多样性的反面集中性的度量。假设从包含 N 个个体的 S 个种的集合中随机抽取 2 个个体,如果这 2 个个体属于相同种的概率大,则说明集中性高,这也就意味着多样性低。Simpson 指数的计算公式为:

$$D = 1 - \sum P_i^2 \quad (i = 1, 2, 3, \dots, S) \quad (1)$$

式中 S ——物种数;

P_i ——一个个体属于第 i 种的概率,以其个体占总个体的比例表示。

Simpson 指数介于 0~1 之间。各种个体分配越均匀, Simpson 指数越高,指示群落多样性好。

Simpson 指数与植物边坡生境的相关性较大,其中坡度与土壤湿度对植物生长影响最大。图 5 为 Simpson 指数与边坡坡度及土壤湿度关系图。由统计分析可知, Simpson 指数平均值为 0.411 8,说明延安地区黄土边坡的物种多样性总体处于中等偏下水平,植被群落结构较单一。当黄土边坡坡度增大,土壤保水能力

及植物附着能力相应降低,种群趋于单一化,所以 Simpson 指数随着调查边坡坡度的增大而相应减小,同时适应性物种的优势度相应更高。

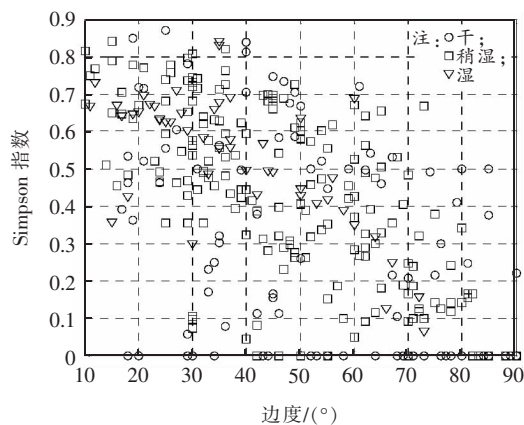


图5 坡度-土壤湿度-Simpson 指数关系图

统计各坡度下黑沙蒿数量占有植物总数量百分比,得到图 6 所示的黑沙蒿所占比重统计图。对图 6 所示进行线性拟合,得到坡度与黑沙蒿比重的拟合函数为 $y = 0.28x + 51$ 。由此可知,土壤湿度越小,坡度越大,黑沙蒿植物数量比重越大,且呈线性关系,这与图 5 中 Simpson 指数相应降低的趋势几乎一致,也解释了图 5 中 Simpson 指数相应降低的原因。

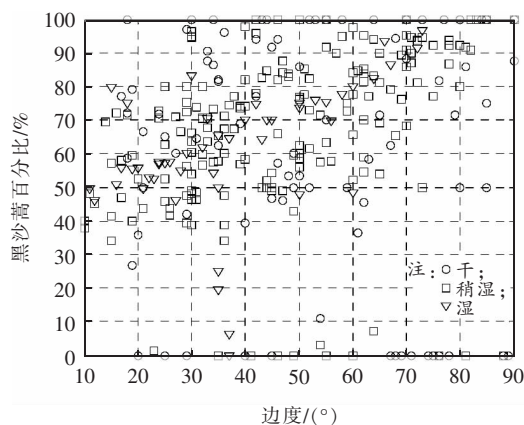


图6 坡度-黑沙蒿百分比关系统计图

为进一步验证上述论证,以图 7 所示的典型边坡来进行分析。如果将图 7 中的坡面按坡度进行划分,大致可以划分为 5 个区域:区域 1 坡度大致为 70° ,坡度较大,该区域主要以黑沙蒿为主;区域 2 为坡面的小平台,坡度较缓,约 10° ,该平台十分狭窄,但平台上植物种类丰富,主要以禾本植物、蒿属植物等草本植物为主,生长特征较好,其中芦苇等植物高度明显大于其他区域的草本植物;区域 3 坡度大致为 35° ,坡度中等,该区域各种草本植物均有分布,但生长特征明显低于

区域2;区域4坡度大致直立,为小型陡坎,植物几乎难以附着,偶见零星黑沙蒿幼苗;区域5为坡顶平台,坡度与区域2大致相同,但区域面积较大,空间更开阔,更适合木本植物的生长,故区域内草本、乔木、灌木等植物种类丰富,生长特征良好。总体而言,该典型边坡各区域植物生长分布基本印证了图5和图6中坡度与植物生长特征的关系,显示了黑沙蒿在大坡度条件下的优势性。



图7 典型边坡的分区示意

2.4 黑沙蒿护坡效应分析

黑沙蒿具有较大优势度的原因可以从其自身特性及边坡生境的影响关系来分析。首先水分是制约延安地区植物生长的关键因素。陕北地区干旱少雨,加之延安地区黄土边坡主要为风积黄土,部分地段粉砂含量很高或为粉砂,结构疏松,大孔隙及垂直节理发育,坡体含水量较低,特别是坡体浅表层土壤在光照和风蚀等作用下储水能力更差。延安地区的黑沙蒿根系发达,增强了水分和微量元素的利用能力,同时提高了抗风蚀能力,利于其在松散风积黄土坡体的附着。黑沙蒿叶稍肉质,一回或二回羽状全裂,裂片丝状条形,具有较强的保水力。此外,黑沙蒿耐寒性强,能在-30℃以下气温的冬季存活,是极少能适应延安地区冬季气候的草本植物之一。

从上述分析可知,黑沙蒿由于其在黄土边坡上极强的适应性,成为延安地区黄土边坡植物的优势物种。黑沙蒿护坡效应对延安地区黄土边坡稳定及生态恢复有着重要的作用,主要体现在根系固土效应、茎叶防冲刷侵蚀效应及对边坡生态系统改善等方面。

通过对调查坡体开挖观察,延安地区的黑沙蒿具有根系粗长、木质、侧根多的特点,如图8所示,其根系在垂直方向上主要集中分布于0~50 cm的土层中,在水平方向上主要集中在距黑沙蒿植株0~30 cm的范围内,明显大于其他草本植物根系分布范围。黑沙蒿的浅根加筋和深根锚固作用对于坡面下1 m深度内的

黄土是显著的。黑沙蒿茎叶及根系可以推迟和减缓降雨产流、产沙时间,对于降低坡面冲刷作用明显。通过对1~3年生黑沙蒿生长特征的比较,可以发现随着生长年限的增加,黑沙蒿数量比重略有下降,边坡植物多样性相应提高,说明黑沙蒿对黄土边坡生境有较高的可塑性,对土壤环境条件有一定恢复作用,所以特别适合作为延安地区黄土边坡初期护坡植物物种,且随着黑沙蒿对边坡生境的改善,通过自然生长或人工干预逐渐增加边坡植物物种,可有效恢复边坡生态环境。



图8 黑沙蒿根系

从上述分析结果中,本文得到了延安地区黄土边坡护坡植物群落及植物配比的规律,相应的适宜植物类型如图9所示。图9提出了陕北黄土边坡各坡度下适宜植物种群,随着坡度的增大适宜植物种群趋于单一化。坡度大于65°的自然黄土边坡,黑沙蒿几乎成为唯一适生植物。植物种群单一化对边坡生态系统生产力长期性及景观均有不利影响,所以有必要配合工程措施,增大边坡稳定性的同时提高边坡生境以利于护坡植物种群丰富度。根据此次调查分析,相应的黄土边坡植物护坡方案及建议初期护坡植物物种如表2所示,待初期护坡植物与工程措施形成复合型生态防护后,再进一步提高坡体植物种群多样性,恢复边坡生态。

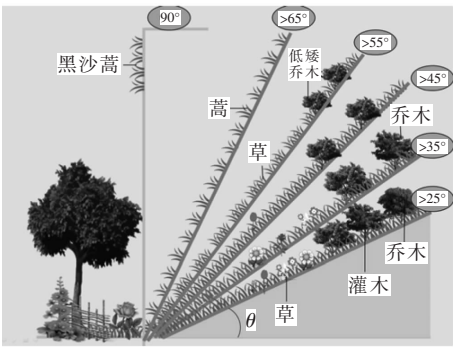


图9 不同坡度适宜植被类型图

表 2 黄土边坡植物护坡方案表

坡度 θ	初期护坡植物物种	植物护坡工程防护方案
$\theta \leq 25^\circ$	蒿类:黑沙蒿、臭蒿、白莲蒿;草本:黑麦草、紫花苜蓿、结缕草、无芒雀麦、臭草、狗尾草、野菊花、蒲公英、灰灰菜、芦苇;灌木:迎春、杞柳;乔木:槐树、枣树、榆树、椿树、泡桐	可降解排水网
$25^\circ < \theta \leq 35^\circ$	蒿类:黑沙蒿、臭蒿、白莲蒿;草本:黑麦草、紫花苜蓿、结缕草、无芒雀麦、臭草、狗尾草、野菊花、蒲公英、灰灰菜、芦苇;灌木:迎春、杞柳、柠条;乔木:槐树、枣树、榆树、椿树	可降解排水网 + 喷种
$35^\circ < \theta \leq 45^\circ$	蒿类:黑沙蒿、臭蒿、白莲蒿;草本:紫花苜蓿、结缕草、无芒雀麦、臭草、狗尾草、野菊花、蒲公英、灰灰菜;乔木:槐树、枣树、榆树	不可降解排水网 + 喷种
$45^\circ < \theta \leq 55^\circ$	蒿类:黑沙蒿、臭蒿;草本:紫花苜蓿、结缕草、臭草、狗尾草、蒲公英、灰灰菜;乔木:槐树、枣树、榆树、椿树	铁丝网 + 人工植孔播种
$55^\circ < \theta \leq 65^\circ$	蒿类:黑沙蒿;草本:结缕草、臭草、狗尾草、灰灰菜;乔木:槐树、枣树	土工格室
$\theta > 65^\circ$	黑沙蒿	坡脚挡墙 + 土工格室 + 人工植孔播种

3 结论

(1) 延安地区黄土边坡的物种多样性总体处于中等偏下水平,植被群落结构较单一。

(2) 延安地区边坡植物主要以耐寒耐旱及适生性强的品种为主,以黑沙蒿为代表的蒿属植物是延安地区黄土边坡植物的优势属。

(3) 黑沙蒿的生长特征主要受边坡坡度和土壤湿度的影响,随着生境降低,黑沙蒿比重相应增大,优势度更加明显。

(4) 黑沙蒿护坡效应主要为根系固土效应、茎叶防冲刷侵蚀效应及对边坡生态系统改善等方面。

(5) 为形成复合型生态防护,筛选得到了不同坡度边坡适宜植物物种和工程方案。

(6) 本研究成果能为西北黄土边坡生态防护技术提供理论基础和工程设计指导。

参考文献:

- [1] 张茂省,校培喜,魏兴丽. 延安市宝塔区崩滑地质灾害发育特征与分布规律初探[J]. 水文地质工程地质, 2006(6):72-74.
Zhang Maosheng, Xiao Peixi, Wei Xingli. A Preliminary Discussion of the Occurrence of Landslide in the Baota District of Yan'an City [J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2006(6):72-74.
- [2] 董时俊. 降雨条件下灵台黄土滑坡变形机理分析[J]. 铁道工程学报, 2014(10):44-48.
Dong Shijun. Deformation Mechanism of Lingtai Loess Landslide under Rainfall Condition [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2014(10):44-48.
- [3] Peiyue Li, Hui Qian, Jianhua Wu. Accelerate Research on Land Creation[J]. Nature, 2014(510):29-31.
- [4] 王文生,杨晓华,谢永利. 公路边坡植物的护坡机理[J].

长安大学学报, 2005(4):26-30.

Wang Wensheng, Yang Xiaohua, Xie Yongli. Mechanism of Biotechnical Protection for Highway Slope[J]. Journal of Chang'an University (Natural Science), 2005(4):26-30.

- [5] 赵志明,吴光,王喜华. 工程边坡绿色防护机制研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2006(2):299-305.

Zhao Zhiming, Wu Guang, Wang Xihua. Research on Greening Protection Mechanism Engineering Slope[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2006(2):299-305.

- [6] 徐则民,黄润秋,唐正光,等. 植被护坡的局限性及其对深层滑坡孕育的贡献[J]. 岩石力学与工程学报, 2005(3):438-449.

Xu Zemin, Huang Runqiu, Tang Zhengguang, etc. Limitations of Biotechnical Slope Protection and Contribution of Vegetation to Deep Seated Landslide Preparation[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005(3):438-449.

- [7] 胡夏嵩,李国荣,朱海丽,等. 寒旱环境灌木植物根-土相互作用及其护坡力学效应[J]. 岩石力学与工程学报, 2009(3):613-620.

Hu Xiasong, Li Guorong, Zhu Haili, etc. Research on Interaction between Vegetation Root and Soil For Slope Protection and Its Mechanical Effect in Cold and Arid Environments[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2009(3):613-620.

- [8] 刘海松,倪万魁,杨泓全,等. 降雨冲刷对黄土公路边坡植物防护影响的试验研究[J]. 工程地质学报, 2007(4):527-533.

Liu Haisong, Ni Wankui, Yang Hongquan, etc. A Field Test of Rainfall Erosion on Loess-highway-slope with Plant Protection [J]. Journal of Engineering Geology, 2007(4):527-533.