

# 扶项高速公路边坡植被特征与稳定性比较

曹 妮<sup>1,2</sup>, 胡永歌<sup>1</sup>, 陈 冰<sup>3</sup>, 王艺琳<sup>1</sup>, 张亚光<sup>1</sup>, 田国行<sup>1</sup>

(1. 河南农业大学 林学院, 河南 郑州 450000; 2. 河南科技学院, 河南 新乡 453003;  
3. 河南高速公路发展有限责任公司 三门峡分公司, 河南 三门峡 472000)

**摘 要:** [目的] 以生长 8 a 的大广高速公路扶沟—项城段边坡植被(简称扶项高速)为研究对象,选择 5 种典型植物群落,进行群落稳定性测度,为营建高速公路可持续景观提供理论依据。[方法] 通过实地调研获得植物群落和土壤数据,提取对植物群落稳定性影响较大的群落物种多样性、群落生物量、土壤水分、土壤养分 4 项指标共计 15 个评价因子,通过隶属函数法对其进行稳定性测度。[结果] 黑麦草+白三叶+楝树群落的物种多样性指标、生物量指标和土壤水分指标最高,土壤养分指标最高的是鬼针草+黑麦草群落。5 种植物群落稳定性排序为:黑麦草+白三叶+楝树群落>鬼针草+黑麦草群落>黑麦草+紫花苜蓿群落>鬼针草+黑麦草+艾草群落>小叶扶芳藤群落。[结论] 通过对植物群落稳定性分析,得出楝树、黑麦草、白三叶、紫花苜蓿为扶项高速公路边坡可持续景观营建的首选植物,在植物配置时应丰富群落层次,推荐配置模式楝树/构树/椿树/刺槐+黑麦草+紫花苜蓿;楝树/构树/椿树/刺槐+紫穗槐+白三叶+黑麦草;楝树/构树/椿树/刺槐+紫穗槐+紫花苜蓿+黑麦草。

**关键词:** 人工植物群落; 群落稳定性; 边坡; 扶项高速公路

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2017)06-0129-07

**中图分类号:** S732

**文献参数:** 曹妮, 胡永歌, 陈冰, 等. 扶项高速公路边坡植被特征与稳定性比较[J]. 水土保持通报, 2017, 37(6):129-135. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.20171205.01; Cao Wei, Hu Yongge, Chen Bing, et al. Character and comparison of community stability on Fugou-Xiangcheng highway slope[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(6):129-135. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.20171205.01

## Character and Comparison of Community Stability on Fugou-Xiangcheng Highway Slope

CAO Wei<sup>1,2</sup>, HU Yongge<sup>1</sup>, CHEN Bing<sup>3</sup>,

WANG Yilin<sup>1</sup>, ZHANG Yaguang<sup>1</sup>, TIAN Guohang<sup>1</sup>

(1. College of Forestry, He'nan Agricultural University, Zhengzhou, He'nan 450000, China;

2. He'nan Institute of Science and Technology, Xinxiang, He'nan 453003, China;

3. Sanmenxia Branch, He'nan Highway Development Co. LTD., Sanmenxia, He'nan 472000, China)

**Abstract:** [Objective] 5 typical side slope plant communities that had been revegetated for 8 years on a section of Daguang highway, that is Fugou-Xiangcheng highway (abbreviated as Fuxiang highway), were selected as research objects. Their stability were measured to provide theoretical foundation for the sustainable landscape construction. [Methods] The data of vegetation community and soil were surveyed and measured. 15 factors of 4 indices involved plant community stability, including species diversity, communities biomass, soil moisture and soil nutrient were used to evaluate the community stability with subordination function method. [Results] *Lolium perenne* + *Trifolium repens* Linn + *Melia azedarach* vegetation community had the highest scores of species diversity index, biomass of vegetation communities index and soil moisture index, while the *Bidens pilosa* + *Lolium perenne* vegetation community had the highest soil nutrient index. The rank of the 5 typical vegetation communities was *Lolium perenne* + *Trifolium repens* Linn vegetation community + *Melia azedarach* vegetation community > *Bidens pilosa* + *Lolium perenne* vegetation community > *Lolium perenne* + *Medicago sativa* vegetation community > *Bidens pilosa* + *Lolium perenne* + *Medicago sativa* vegetation community > *Euonymus fortune* vegetation community. [Conclusion] Based on

收稿日期: 2017-05-23

修回日期: 2017-06-17

资助项目: 河南省交通厅项目“高速公路景观的稳定性和可持续性研究”(2014Z06); “河南省路域景观绿地资源整合提升和生态管控关键技术研究与示范”(2015J02)

第一作者: 曹妮(1982—), 女(汉族), 河南省新乡市人, 博士研究生, 讲师, 主要从事风景园林规划设计与高速公路路域景观生态研究。E-mail: caowei0913@163.com。

通讯作者: 田国行(1964—), 男(汉族), 河南省封丘市人, 博士生导师, 教授, 主要从事城乡绿地资源建设与管控。E-mail: tgh0810@163.com。

the stability analysis of these vegetation communities, it was concluded that *Melia azedarach*, *Lolium perenne*, *Trifolium repens* and *Medicago sativa* were the first selected plants for the sustainable landscape in Fuxiang highway. It is better to enrich the vegetation community layers and plant furnishing mode, such as *Melia azedarach*/*Broussonetia papyrifera*/*Ailanthus altissima*/*Robinia pseudoacacia* + *Lolium perenne* + *Medicago sativa*, *Melia azedarach*/*Broussonetia papyrifera*/*Ailanthus altissima*/*Robinia pseudoacacia* + *Amorpha fruticosa* + *Trifolium repens* + *Lolium perenne*, *Melia azedarach*/*Broussonetia papyrifera*/*Ailanthus altissima*/*Robinia pseudoacacia* + *Amorpha fruticosa* + *Medicago sativa* + *Lolium perenne*.

**Keywords:** artificial vegetation community; vegetation community stability; slope; Fuxiang Highway

高速公路作为一种特殊的道路形式,尤其是中国的高速公路,受土地供给影响,往往是高填方路基、深挖方路堑,产生大量边坡界面,严重扰动了地球表面。修建路堑边坡时,机械挖掘破坏了原生土壤,修建路基边坡时填埋和碾压的回填土也非原生土壤,期待边坡植被自然恢复显然不现实,因此种植人工植物群落成为边坡恢复的主要措施,事实证明,植物在增进边坡稳定性中具有重要的作用<sup>[1]</sup>。

目前,在讨论植物与边坡稳定性关系的文献大多集中在以下几个方面:一方面是侧重于植被在边坡水土保持中的作用,如一些学者<sup>[2-4]</sup>研究了植被盖度与水土流失存在负相关性;另一方面是研究植物根系在增强边坡的稳定性中的作用<sup>[5-8]</sup>;还有一些研究<sup>[6,9]</sup>表明植物多样性可以影响边坡的稳定性。高速公路边坡植被群落是典型的人工植物群落,但是立地条件特殊,具有坡度大、水肥条件差,人工痕迹明显等特点。边坡植被群落的稳定性对有效防止水土流失、边坡稳定均具有重要作用,而针对高速公路边坡群落稳定性的研究却非常少,且缺乏相应的研究方法。目前针对植物群落的稳定性更多用来分析森林群落<sup>[10-13]</sup>,人工林群落<sup>[14-15]</sup>以及草原生态系统<sup>[16-18]</sup>。对群落稳定性的测度方法也不尽相同。有从物种多样性的角度探讨群落稳定性的<sup>[19-20]</sup>,有运用 Gordon 模型对群落进行稳定性评价<sup>[11,20-22]</sup>;也有学者使用模糊数学隶属函数法进行评价<sup>[10,23-25]</sup>。高速公路边坡植被恢复是边坡建设中的一个重要环节,早期栽植的人工植物群落以水土保持为目的,相应的研究也主要集中在植被建植初期,缺少连续性的跟踪研究。在对河南省高速公路边坡植物群落调研过程中,发现有些植物群落已经开始退化,加剧了边坡的不稳定性。因此我们希望通过植物群落稳定性的研究为营建可持续的高速公路景观提供科学、合理的植物选择和配置。本研究以大广高速扶(扶沟)项(项城)段高速公路为研究路段,由于高速公路养护部门经费不足,边坡植物在种植后很少会对其进行养护,因此该路段人工干预较少。

本研究共选取 5 种不同植物群落组合,提取群落物种多样性、群落生产力、土壤水分和土壤养分 4 项指标共计 15 个评价因子,通过模糊数学的隶属函数值法对边坡植被群落进行稳定性评价。并讨论调研群落中相对稳定植物群落的优势种、群落结构,为指导边坡景观改造与提升提供理论依据。

## 1 研究区概况

扶沟—项城高速(简称扶项高速)公路位于河南省扶沟县与项城县境内,是大(大庆)—广(广州)高速公路河南段的重要部分,全长约 140.79 km,该条高速公路边坡人工植物群落种植时间为 2006 年。试验段属暖温带半湿润季风型气候,四季分明。年平均气温为 14.5~15.8℃。极端最高气温达 43.2℃,极端最低气温为-21℃,平均霜期为 146 d,无霜期 219 d,历年降水量为 689~816 mm,年平均日照为 2 025~2 269 h<sup>[26]</sup>。扶项高速公路边坡常见植物有:构树(*Broussonetia papyrifera*)、楝树(*Melia azedarach*)、黑麦草(*Lolium perenne*)、鬼针草(*Bidens pilosa*)、野胡萝卜(*Daucus carota*)、紫花苜蓿(*Medicago sativa*)、白三叶(*Trifolium repens* Linn)、老鹳草(*Geranium wilfordii*)、小蓟(*Cirsium setosum*)、加拿大蓬(*Conyza canadensis*)、狗尾草(*Setaria viridis*)、苍耳(*Xanthium sibiricum*)、白茅(*Imperata cylindrica*)、地锦(*Euphorbia humifusa*)、葎草(*Humulus scandens*)、燕麦(*Avena sativa*)、小叶扶芳藤(*Euonymus fortunei*)、紫藤(*Wisteria sinensis*)等。

## 2 调查与分析方法

### 2.1 野外调查与取样

植物群落调研和土壤采样均在 2014 年 7 月完成。首先对调研路段植物群落进行记录,然后选取 5 种具有代表性的群落进行调研,群落命名依托群落中的优势种,所有调研边坡坡度均为 32°,样地基本情况详见表 1。由于调研路段边坡多使用拱形构架这一防护措施,给样方设置带来局限性,本研究以拱形构架(3 m×5 m)为单位设置样地,进行灌木调研,并

在每个样地中采用梅花五点法,分别设置 5 个  $1\text{ m} \times 1\text{ m}$  的样方,进行草本群落测定。由于具有乔木的群落非常少,样地内的楝树高度在  $45\sim 55\text{ cm}$  之间,且没有刈割的痕迹,因此判断楝树以幼苗形式存在,样方大小以拱形构架( $3\text{ m} \times 5\text{ m}$ )为依托设置而非林业调查时的乔木标准样地  $20\text{ m} \times 30\text{ m}$  设置。每种植物群落重复调研 3 次。记录样方内植物的名称、盖度、频度、密度、高度等,并计算出 Shannon-Wiener 指数(SW),Pielou 指数( $P$ ),物种丰富度指数( $R$ )<sup>[27-28]</sup>,具体计算方法为:

$$\text{丰富度指数: } R=S \quad (1)$$

$$\text{Shannon-Wiener 指数: } H=-\sum_{i=1}^s P_i \ln P_i \quad (2)$$

$$\text{Pielou 指数: } E=H/\ln S \quad (3)$$

式中: $P_i$ ——第  $i$  个种占总数的比例; $S$ ——物种总数。

地上生物量测定包括群落中乔木、灌木和草本,因乔木均以幼苗的形式存在,3 种生活型植物均采用收割法,乔木与灌木的枝干剪切入袋,做好标记,带回实验室在  $80\text{ }^\circ\text{C}$  烘箱里烘干至恒重。

表 1 扶项高速公路群落名称与样地基本情况

编号	群落名称	边坡朝向	边坡类型	防护形式
1	小叶扶芳藤	东坡	砂礓黑土路基	矩形构架
2	鬼针草+黑麦草	东坡	砂礓黑土路基	矩形构架
3	黑麦草+白三叶+楝树	西坡	砂礓黑土路基	矩形构架
4	鬼针草+黑麦草+艾草	西坡	粉沙土路基	拱形构架
5	黑麦草+紫花苜蓿	东坡	粉沙土路基	拱形构架

高速公路边坡土壤具有其特殊性,路基边坡通常会回填建筑垃圾经过碾压后喷播客土,喷播厚度一般在  $10\sim 20\text{ cm}$ ,以便植物生长,结合调研路段的实际情况,边坡取土均分为两层,即  $0\sim 10\text{ cm}$  与  $10\sim 20\text{ cm}$ 。土壤水分测定的指标包括土壤容重、最大持水率、孔隙度、含水量,取土主要采用环刀法,每层环刀重复 4 次,并称重。具体试验操作以《土壤试验实习教程》<sup>[29]</sup>为指导,如容重、含水量、最大持水率使用环刀法测定、孔隙度使用比重法测定。土壤养分测定,使用取土器分别在群落所对应的小样方土壤中随机设定 5 个点,分  $0\sim 10\text{ cm}$ , $10\sim 20\text{ cm}$  两层取土并混合<sup>[30]</sup>,每种群落对应的土壤均重复 3 次。将土样带回实验室自然风干,并用  $1\text{ mm}$  网筛去除根系和粗砂粒,研磨后进行土壤化学性质测定。全氮采用半微量凯氏扩散法,水解氮采用碱解—扩散法,全磷和有效磷采用紫外分光光度计法,全钾和有效钾采用火焰光度计法,有机质含量采用重铬酸钾—硫酸溶液法<sup>[29-31]</sup>。

## 2.2 评价方法

由于评价因子量纲不同,为消除其对结果的影响,对参与评价的 15 个指标进行标准化处理,具体方法是以评价因子实测值与评价因子最大值之比乘以 1 000 即为标准化参数<sup>[10,23]</sup>。同时通过隶属函数值对 5 种不同的植物群落稳定性进行评价<sup>[30-31]</sup>。

隶属函数值的计算公式为:

$$U(X_{ijk})=(X_{ijk}-X_{kmin})/(X_{kmax}-X_{kmin}) \quad (4)$$

式中: $U(X_{ijk})$ ——第  $i$  个群落类型第  $j$  个评价指标的第  $k$  个评价因子的隶属值,其值域为  $[0, 1]$ ;

$X_{ijk}$ ——第  $i$  个群落类型第  $j$  个评价指标的第  $k$  个评价因子的平均标准化值; $X_{kmin}$ , $X_{kmax}$ ——所有群落第  $k$  个评价因子的最小值和最大值。

最后,以每个群落的各项评价指标的平均隶属函数值为群落稳定性的依据。以求群落 1 生物量为例,群落 1 中草本生物量、灌木生物量以及乔木生物量通过实测值与评价因子最大值之比乘以 1 000 后可以得到 3 个群落层次的生物量标准值,将这 3 个值求均值即得到隶属函数值计算公式中的  $X_{ijk}$ ,以此类推得到其他群落生物量的平均标准值,其中 5 个群落中平均标准值最大的即为公式中  $X_{kmax}$ ,最小的即为公式中的  $X_{kmin}$ ,通过公式(4)可以得到群落 1 对应的隶属函数值,计算结果显示所有指标的值域均为  $[0, 1]$ 。依照此方法,可以得到物种多样性指标、生物量指标、土壤水分指标、土壤养分指标的隶属函数值,将这 4 个指标求均值即得到该群落的隶属函数平均值,根据不同群落的隶属函数平均值结果进行排序,便可得到 5 个群落的稳定性排序。文中所有数据均使用 SPSS 19.0 软件的单因素方差分析比较不同群落种群的差异。

## 3 研究结果

### 3.1 物种多样性

从乔木层的物种多样性指标可以看出,5 种群落只有黑麦草+白三叶+楝树群落有乔木,但是物种单一,因此 5 种群落的 Shannon-Wiener 指数和 Pielou 指数标准化后均为 0,黑麦草+白三叶+楝树群落的 Richness 指数标准化后最大。

从灌木层的计算结果可以看出,5 个群落中由于没有灌木,因此 Shannon-Winner 指数、Pielou 指数、Richness 指数标准化后均为 0;草本层中,Shannon-Winner 指数标准化后最高的是鬼针草+黑麦草群

落,Pielou 指数标注化后最高值出现在黑麦草+紫花苜蓿群落,Richness 指数标准化后最高值为鬼针草+黑麦草群落,而 3 个多样性指标最小值均出现在小叶扶芳藤群落。

表 2 研究区 5 种植物群落物种多样性及其标准化值

群落层次	指数	小叶扶芳藤	鬼针草+黑麦草	黑麦草+白三叶+楝树	鬼针草+黑麦草+艾草	黑麦草+紫花苜蓿	F	p				
乔木层	Richness	0.00	0.00	1	0.00	0.00	2.17	0.11				
	标准化值	0.00	0.00	1 000	0.00	0.00						
草本层	Shannon-Winner	0.66±0.06	1.09±0.31	0.59±0.05	1.07±0.20	0.93±0.42	2.48	0.11				
	标准化值	491.36	996.94	541.28	981.65	853.21						
	Pielou	0.60±0.05	0.62±0.10	0.71±0.26	0.65±0.15	0.82±0.12			1.05	0.43		
	标准化值	726.91	752.03	869.92	788.62	1 000						
	Richness	3.00±0.00	5.67±1.53	2.67±1.15	5.33±0.58	3.33±1.53					4.61	0.02
	标准化值	449.78	1 000	470.31	940.62	587.89						

### 3.2 群落生物量

5 种群落中只有黑麦草+白三叶+楝树群落有乔木,因此该群落的乔木层生物量标准化值最大;5 种群落中均没有出现灌木,因此灌木层的标准化值均为 0;草本层生物量标准化最大值是鬼针草+黑麦草+艾草群落,最小值出现在黑麦草+白三叶+楝树群落(表 3)。

### 3.3 土壤水分

从表 4 可以看出,黑麦草+白三叶+楝树的孔隙度标准化值最大,小叶扶芳藤群落的最小;黑麦草+紫花苜蓿群落的容重和土壤饱和持水率标准化后值最大,鬼针草+黑麦草群落的最小;土壤含水量标准

化,鬼针草+黑麦草+艾草群落的值最大,黑麦草+紫花苜蓿群落的值最小。

表 3 研究区 5 种植物群落生产力及其标准化值

群落	生物量/(g·m <sup>-2</sup> )			
	乔木层		草本层	
	实测值	标准化值	实测值	标准化值
小叶扶芳藤	0.00	0.00	394.57	473.95
鬼针草+黑麦草	0.00	0.00	723.22	868.73
黑麦草+白三叶+楝树	20.67	1 000.00	370.95	445.58
鬼针草+黑麦草+艾草	0.00	0.00	832.50	1 000.00
黑麦草+紫花苜蓿	0.00	0.00	730.57	877.57
显著性 F	8.50		1	
p	<0.01		0.45	

表 4 5 种植物群落土壤水分测定及其标准化值

群落	土层/cm	孔隙度/%	容重/(g·cm <sup>-3</sup> )	饱和持水率/%	含水量/%
小叶扶芳藤	0—10	38.00±0.07	1.39±0.07	34.25±4.01	19.71±3.39
	10—20	35.67±0.05	1.40±0.01	31.88±5.31	20.66±1.47
	标准化值	707.11	959.77	864.49	919.67
鬼针草+黑麦草	0—10	45.00±0.02	1.32±0.02	30.82±0.75	23.10±0.38
	10—20	37.00±0.02	1.39±0.02	29.86±3.36	20.08±0.50
	标准化值	787.10	934.48	793.29	983.68
黑麦草+白三叶+楝树	0—10	50.71±0.03	1.45±0.02	38.43±1.05	16.80±0.29
	10—20	53.46±0.02	1.40±0.03	33.86±0.60	20.51±0.54
	标准化值	999.90	982.76	944.97	849.81
鬼针草+黑麦草+艾草	0—10	41.33±0.02	1.36±0.02	29.87±1.78	21.85±1.50
	10—20	41.33±0.01	1.36±0.02	29.78±1.99	22.06±2.35
	标准化值	793.50	935.63	779.78	1 000.00
黑麦草+紫花苜蓿	0—10	51.00±0.01	1.42±0.02	37.83±0.67	17.57±0.56
	10—20	42.33±0.05	1.48±0.01	38.67±0.13	17.46±0.59
	标准化值	895.89	1 000.00	1 000.00	797.87
F	—	28.23	11.11	9.05	11.32
p	—	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

### 3.4 土壤养分

从表 5 的结果可以看出,水解氮与有效磷标准化后,最大值为黑麦草+白三叶+楝树群落,最小值为黑麦草+紫花苜蓿群落;有效钾和有机质标准化后,最大值为鬼针草+黑麦草群落,最小值为黑麦草+紫

花苜蓿群落。

全氮和全磷指标标准化后,鬼针草+黑麦草群落的值最大,黑麦草+紫花苜蓿群落的最小;全钾含量标准化后,最大值为黑麦草+紫花苜蓿群落,最小值为鬼针草+黑麦草群落。

表 5 研究区 5 种植物群落土壤养分测定及其标准化值

群落	土层/ cm	水解氮/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	有效磷/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	有效钾/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	有机质/ %	全氮/ %	全磷/ %	全钾/ %
小叶扶芳藤	0—10	85.09±4.472	4.36±1.14	103.80±64.51	1.89±0.18	0.14±0.01	0.05±0.00	1.66±0.01
	10—20	68.13±7.56	1.24±0.37	111.77±27.31	0.80±0.18	0.07±0.01	0.04±0.00	1.61±0.01
	标准化值	894.96	942.76	748.50	796.35	821.79	568.75	689.877
鬼针草+黑麦草	0—10	92.52±2.50	3.55±0.60	134.97±71.40	2.30±0.38	0.17±0.04	0.07±0.05	1.36±0.43
	10—20	62.94±1.96	1.59±0.80	153.47±28.29	1.08±0.20	0.10±0.02	0.08±0.06	1.26±0.41
	标准化值	908.08	864.20	1 000.00	1 000.00	1 000.00	1 000.00	552.74
黑麦草+白三叶+楝树	0—10	93.15±11.18	3.25±0.76	110.13±15.52	1.32±0.22	0.11±0.01	0.05±0.00	1.93±0.04
	10—20	78.05±2.38	2.70±3.06	172.60±40.87	0.96±0.08	0.09±0.01	0.04±0.00	1.88±0.03
	标准化值	1 000.00	1 000.00	981.71	675.35	739.74	550.00	803.59
鬼针草+黑麦草+艾草	0—10	50.52±2.80	2.77±0.12	104.72±5.59	1.21±0.05	0.07±0.01	0.04±0.00	1.63±0.03
	10—20	40.89±1.66	2.27±0.29	137.12±8.31	0.96±0.06	0.05±0.01	0.04±0.00	1.72±0.03
	标准化值	533.97	848.48	839.70	641.03	473.08	452.08	706.05
黑麦草+紫花苜蓿	0—10	42.00±4.04	2.54±0.17	114.85±7.49	0.93±0.20	0.06±0.01	0.04±0.00	2.38±0.03
	10—20	35.00±2.08	2.23±0.17	96.00±6.11	0.76±0.07	0.04±0.00	0.04±0.01	2.37±0.03
	标准化值	449.78	803.59	732.13	498.92	388.46	490.63	1 000.00
<i>F</i>		81.19	0.14	3.59	6.46	13.00	1.32	14.13
<i>p</i>		<0.01	0.96	0.05	0.01	<0.01	0.33	<0.01

### 3.5 不同植物群落稳定性评价

从表 6 可以看出,研究区 5 种群落中物种多样性指标的隶属函数值最高值出现在黑麦草+白三叶+楝树群落,最低值出现在小叶扶芳藤群落;生物量指标的隶属函数值最大值为黑麦草+白三叶+楝树群落,最低值为小叶扶芳藤群落;土壤水分指标的隶属函数值最大值为黑麦草+白三叶+楝树群落,最小值

为小叶扶芳藤群落;而土壤养分指标的隶属函数值最高值出现在鬼针草+黑麦草群落,最低值出现在黑麦草+紫花苜蓿群落。将所有评价指标的隶属函数值求均值得到最终的群落稳定性排序,即黑麦草+白三叶+楝树群落>鬼针草+黑麦草群落>黑麦草+紫花苜蓿群落>鬼针草+黑麦草+艾草群落>小叶扶芳藤群落。

表 6 研究区 5 种植物群落稳定性评价

群落	物种多样性指标	生物量指标	土壤水分指标	土壤养分指标	隶属函数平均值
小叶扶芳藤	0	0.00	0.00	0.56	0.56
鬼针草+黑麦草	0.61	0.41	0.53	1.00	2.55
黑麦草+白三叶+楝树	0.68	1.00	1.00	0.71	3.39
鬼针草+黑麦草+艾草	0.59	0.54	0.18	0.07	1.38
黑麦草+紫花苜蓿	0.44	0.42	0.74	0.00	1.60

## 4 讨论与结论

### 4.1 群落稳定性测度指标的选择及其对结果的影响

本研究中,对边坡植物群落稳定性测度时共选取了 2 大类指标,其中植物群落相关的指标有 2 种即群

落物种多样性指标和生物量指标,另一类为土壤指标,包括土壤水分和土壤养分指标两部分。群落的物种多样性不仅反映了群落的生产力,也体现了生态系统健康的程度,直接影响群落的稳定性<sup>[8,10,32]</sup>。大多数学者通过对森林群落或是草地群落稳定性测度的

研究结果显示,群落物种多样性与稳定性呈正相关,多样性高的生态系统可能具有更强的抗干扰性<sup>[24,32-34]</sup>。而对于立地条件特殊的高速公路边坡种植的人工植物群落是否能得到相同结论,需要验证,这也是本研究选取该指标的目的之一。通过群落稳定性测度结果可以看出,扶项高速公路 5 种典型边坡植被群落中,群落物种多样性相对较高的群落,其稳定性也相对较高,即黑麦草+白三叶+楝树群落。群落生产力指标可以很好地判断出该群落的发育状况,由于公路边坡土壤条件差,植物群落的发育情况直接影响到边坡的稳定性以及群落的水土保持能力。结果显示,扶项高速公路 5 种典型群落中,生物量最高的为黑麦草+白三叶+楝树群落,由于 5 种典型群落中均没有生长灌木,乔木即便是幼苗形式存在,也能为整个群落的生物量做出贡献。

土壤为植物生长提供必须的水分与养分,土壤水分的指标反应了土壤涵养水源的能力,直接影响到植物根系生长及对水分、养分的吸收<sup>[24]</sup>,土壤的肥力直接影响并控制植物群落的健康状况<sup>[23-24]</sup>,而高速公路路基边坡土壤包括经过回填、碾压部分以及客土喷播部分,其土壤条件远不如森林群落,且缺乏人工养护与管理。但随着时间的推移,边坡植物群落的生长对土壤具有改良的作用,选取土壤的这 2 种指标不仅可以了解其对植物群落稳定性的影响同时可以掌握不同群落类型对土壤的改良效果。结果显示,扶项高速公路中鬼针草+黑麦草群落中土壤养分含量最高,黑麦草+白三叶+楝树群落的土壤水分指标最高。通常情况下,以豆科植物为优势种的群落具有较好的固氮能力以及土壤改良能力<sup>[35-36]</sup>,由于本研究选取的土壤营养指标不仅包括有效氮、全氮还有有效磷、全磷、有效钾、全钾以及有机质,而黑麦草+紫花苜蓿群落生长的土壤为粉沙土,其土壤有机质以及其他养分条件不及鬼针草+黑麦草群落生长的砂礓黑土高。因此,黑麦草+紫花苜蓿群落的养分并非 5 个群落中最高的<sup>[23-24]</sup>。将土壤、群落生产力、群落物种多样性各个因素综合在一起,最终得到扶项高速公路边坡群落稳定性的排序结果为:黑麦草+白三叶+楝树>鬼针草+黑麦草群落>黑麦草+紫花苜蓿群落>鬼针草+黑麦草+艾草群落>小叶扶芳藤群落。

#### 4.2 提升扶项高速公路边坡植物群落稳定性配置模式推荐

从对整个扶项高速边坡植物群落调研的结果可以看出,黑麦草这一多年生草本植物在该条高速边坡绿化上使用的最为广泛,2 个稳定性相对较高的群落中,黑麦草均为优势种。两种群落组成具体分析如

下:黑麦草+白三叶+楝树群落为乔木+草本群落,该群落优势种为黑麦草、白三叶和楝树,群落中还生长有艾草与紫藤。该群落在 2014 年调研时,是唯一一个有乔木存在的群落。鬼针草+黑麦草群落为草本群落,该群落 2014 年 7 月优势种为鬼针草和黑麦草,群落中还生长有野胡萝卜与紫花苜蓿。通过上述分析,扶项高速公路值得推广的植物有黑麦草、白三叶、楝树、紫花苜蓿。由于黑麦草属于冷季型草,在进行植物搭配时可与其他非冷季型、多年生草本相结合。通过对稳定性较高的群落分析,发现这些群落中均生长有豆科植物,研究<sup>[35-36]</sup>表明豆科植物在边坡恢复以及改良土壤中作用起着重要作用,在植物配置时可以增加不同生活型的豆科乡土植物如白三叶、紫花苜蓿、紫穗槐、刺槐等。群落种植模式推荐乔木+灌木+草本,这样不仅可以提高群落物种多样性还进一步增加了群落生产力,对群落稳定性均具有促进作用。扶项高速公路边坡以及沿线常见的乡土乔木主要有楝树、构树、椿树和刺槐。

综上所述,适合提升扶项高速公路植物群落稳定性的搭配推荐模式为:楝树/构树/椿树/刺槐+黑麦草+紫花苜蓿;楝树/构树/椿树/刺槐+紫穗槐+白三叶+黑麦草;楝树/构树/椿树/刺槐+紫穗槐+紫花苜蓿+黑麦草等。在本次调研中,小叶扶芳藤群落的稳定性虽然较低,但其长势非常好,群落盖度超过 95%,并不断向露肩蔓延,该植物建植初期生长较慢,可以和多年生草本植物混种以增加其水土保持效果,同时该藤本植物可以种植在边沟旁边的刺丝网上,不仅可以增加立体绿化,同时也丰富了视觉效果。高速公路边坡群落具有特殊性,它不同于森林群落,也有别于人工草地群落,目前对该类群落的研究相对较少,也缺少系统的研究方法。本研究通过隶属函数法对扶项高速公路 5 种典型群落进行稳定性测度,并对稳定性群落特征的分析,为今后高速公路边坡植物配置与景观提升提供理论依据。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] Yang Yang, Yang Jianying, Zhao Tingning, et al. Ecological restoration of highway slope by covering with straw-mat and seeding with grass-legume mixture [J]. Ecological Engineering, 2016,90:68-76.
- [2] Megahan W F, Seyedbagheri K A, Dodson P C. Long-term erosion on granitic roadcut based on exposed tree roots [J]. Earth Surface Process Landforms, 1983, 8(1):19-28.
- [3] Zhou Zengchao, Shanguan Zouping, Zhao D. Modeling vegetation coverage and soil erosion in the Loess Plateau

- Area of China. *Ecological Modelling* [J]. *Ecological Modelling*, 2006,198(1/2):263-268.
- [4] Bochet E, Garciafayos P, Poesen J. Topographic thresholds for plant colonization on semiarid eroded slopes [J]. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2009,34(13):1758-1771.
- [5] Osman N, Barakbah S S. The effect of plant succession on slope stability [J]. *Ecological Engineering*, 2011,37(2):139-147.
- [6] Genet M, Stokes A, Salin F, et al. The influence of cellulose content on tensile strength in tree roots [J]. *Plant & Soil*, 2005,278(1):1-9.
- [7] Liu Yaojun, Wang Tianwei, Cai Chongfa, et al. Effects of vegetation on runoff generation, sediment yield and soil shear strength on road-side slopes under a simulation rainfall test in the Three Gorges Reservoir area, China [J]. *The Science of the Total Environment*, 2014,485/486:93-102.
- [8] Li Yunpeng, Wang Yunqi, Ma Chao, et al. Influence of the spatial layout of plant roots on slope stability [J]. *Ecological Engineering*, 2016,91:477-486.
- [9] Pohl M, Dominik A, Christian K, et al. Higher plant diversity enhances soil stability in disturbed alpine ecosystems[J]. *Plant and Soil*, 2009,324(1):91-102.
- [10] 郭其强. 黄龙山松栎林及其近自然采育更新评价[D]. 陕西 杨凌:西北农林科技大学,2007.
- [11] 郑元润. 森林群落稳定性研究方法初探[J]. *林业科学*, 2000,36(5):28-32.
- [12] 崔文举,舒清态,刘满宾,等. 西双版纳热带林森林景观稳定性研究[J]. *云南地理环境研究*, 2010,22(2):29-33.
- [13] 马洪婧,李瑞霞,袁发银,等. 不同演替阶段栎树混交林群落稳定性[J]. *生态学杂志*, 2013,(3):558-562.
- [14] 张婷,张文辉,郭连金,等. 黄土高原丘陵区不同生境小叶杨人工林物种多样性及其群落稳定性分析[J]. *西北植物学报*, 2007,27(2):340-347.
- [15] 夏振尧. 向家坝水电站扰动边坡人工植被群落初期演替过程与稳定性研究[D]. 湖北 武汉:武汉大学,2010.
- [16] 白永飞,陈佐忠. 锡林河流域羊草草原植物种群和功能群的长期变异性及其对群落稳定性的影响[J]. *植物生态学报*, 2000,24(6):641-647.
- [17] 石永红,符义坤,李阳春,等. 半荒漠地区绿洲混播牧草群落稳定性与调控研究[J]. *草业学报*, 2000(3):1-7.
- [18] 董世魁,胡自治. 人工草地群落稳定性及其调控机制研究现状[J]. *草原与草坪*, 2000(3):3-8.
- [19] 闫东锋,李纪亮,何瑞珍,等. 宝天曼栎类天然次生林群落稳定性研究[J]. *西北林学院学报*, 2006,21(5):69-73.
- [20] 闫东锋,王向阳,杨喜田. 主成分分析法和稳定度指数法评价森林群落稳定性比较[J]. *河南农业大学学报*, 2011,45(2):166-171,182.
- [21] Godron M. Some aspects of heterogeneity in grasslands of cantal [J]. *Statistical Ecology*, 1972,3(3):397-415.
- [22] 黄祥童,王绍先,黄炳军,等. 珍稀植物对开蕨与其伴生物种的联结性及群落稳定性[J]. *生态学报*, 2015,35(1):80-90.
- [23] 张梦孜,张青,亢新刚,等. 长白山云冷杉林不同演替阶段群落稳定性[J]. *应用生态学报*, 2015,26(6):1609-1616.
- [24] 宋启亮,董希斌. 大兴安岭不同类型低质林群落稳定性的综合评价[J]. *林业科学*, 2014,50(6):10-17.
- [25] 李荣,张文辉,何景峰,等. 不同间伐强度对辽东栎林群落稳定性的影响[J]. *应用生态学报*, 2011,22(1):14-20.
- [26] 田国行,杨春,杨晓明,等. 路基边坡草灌植被消减降雨侵蚀作用机理探讨[J]. *中南林业科技大学学报*, 2010,30(7):32-37.
- [27] Pielou E. *Ecological Diversity*[M]. New York: Wiley, 1975.
- [28] 方精云,王襄平,沈泽昊,等. 植物群落清查的主要内容、方法和技术规范[J]. *生物多样性*, 2009,17(6):533-548.
- [29] 陈立新. 土壤试验实习教程[M]. 黑龙江 哈尔滨:东北林业大学出版社,2005.
- [30] Zhang Yan, Yang Jianying, Wu Hailong, et al. Dynamic changes in soil and vegetation during varying ecological-recovery conditions of abandoned mines in Beijing [J]. *Ecological Engineering*, 2014,73:676-683.
- [31] Liang Jian, Wang Xiaolan, Yu Zhongdong, et al. Effect of vegetation succession on soil fertility within farming-plantation ecotone in Ziwuling mountains of the Loess Plateau in China [J]. *Agricultural Sciences in China*, 2010,9(10):1481-1491.
- [32] 丁惠萍,张社奇,钱克红,等. 森林生态系统稳定性研究的现状分析[J]. *西北林学院学报*, 2006,21(4):28-30,61.
- [33] Tilman D, Downing J A. Biodiversity and stability in grasslands [J]. *Nature*, 1994,367(6461):363-365.
- [34] Mccann K S. The diversity-stability debate [J]. *Nature*, 2000,405(6783):228-233.
- [35] Araújo I S, Costa M G. Biomass and nutrient accumulation pattern of leguminous tree seedlings grown on mine tailings amended with organic waste [J]. *Ecological Engineering*, 2013,60(254/260):254-260.
- [36] Lenka N K, Choudhury P R, Sudhishri S, et al. Soil aggregation, carbon build up and root zone soil moisture in degraded sloping lands under selected agroforestry based rehabilitation systems in eastern India [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2012,150(150):54-62.