

山东省济莱高速公路生态护坡植被恢复过程分析

陈海波^{1,2}, 舒安平¹, 李 芮³

(1. 北京师范大学 环境学院, 北京 100875; 2. 北京克劳沃草业技术开发中心, 北京 100029; 3. 北京师范大学 地理与遥感科学学院, 北京 100875)

摘 要: 以山东省中部半干旱地区济青南线济南至莱芜高速公路部分石质边坡客土喷播生态防护试验工程为研究对象, 通过应用样方调查法对试验研究区内的路堑岩石边坡原生和次生态恢复植被进行了随机调查。结果表明, 客土喷播和植生带绿化等是实现开挖山体坡面的快速植被恢复的边坡生态防护措施, 次生植被恢复演替进程比自然植被恢复明显加快。从植被种群的物种重要值、生态位宽度、生态位重叠等计测结果发现, 在次生植被恢复过程中逐渐形成以紫花苜蓿、高羊茅、紫穗槐、多年生黑麦草、马棘等为主的重要值较高的草灌型植被, 演替趋势为豆科草向豆禾草演替, 多草型向草灌型演替, 种间资源竞争不强证明边坡植被恢复 1.5 a 时期的植被仍处于演替的初级阶段。

关键词: 济莱高速; 生态护坡; 植被恢复; 次生演替; 生态位

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)01-0093-07

中图分类号: X171.4

Vegetation Restoration Processes in Ecological Slope Protection of Ji 'nan —Laiwu Expressway of Shandong Province

CHEN Hai-bo^{1,2}, SHU An-ping¹, LI Rui³

(1. School of Environment, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. Beijing Clover Seed & Turf Co., Beijing 100029, China; 3. School of Georaphy and Remote Sensing, Beijing Normal Univeristy 100875, Beijing)

Abstract: By taking the ecological slope protection of Ji 'nan —Laiwu expressway located in the semi-arid region of middle Shandong Province as a research object, the vegetation restoration of rocky slope by external-soil spray seeding technique is investigated based on the ecological slope restoration observations. Results show that the succession process of secondary vegetation restoration is more rapid than natural vegetation restoration. By calculating and measuring the important value, niche breadth, and niche overlap of species, rocky slope has gradually evolved into the grass-shrub vegetation with importance value, such as alfalfa, tall fescue, amorpha, perennial ryegrass, and indigofera pseudotinctoria, which range from leguminosae grass to leguminosae and gramineae grass and from multi-grass type to grass-shrub vegetation. The weak competition among species for resources proves that plants during one and a half year's vegetation restoration period remain in the primary stage of succession process.

Keywords: Ji 'nan —Laiwu expressway; ecological slope protection; vegetation restoration; secondary succession; ecological niche

随着我国拉动内需, 增加基础设施建设步伐进一步加快, 全国兴起了高速公路的建设高潮, 大规模的公路建设过程中不可避免地破坏了原生生态植被, 导致沿线植物多样性降低, 生态抗逆性减弱, 景观效果和防护效果恶化^[1-4]。进入 21 世纪以来, 随着生态环保意识的增强, 公路沿线生态重建与恢复工程已逐步得到重视, 往往与公路的开发建设同步进行^[5-6]。在原生植被遭到破坏的情况下, 利用外来速生物种营造生物环境, 逐渐形成多样性渐增的低矮草灌群落, 进而为

植被长期演替创造条件^[7-8]。因此, 在植被恢复与生态重建过程中, 植物因素起着关键性作用, 分析植被恢复过程中的物种特征, 探讨人工强干扰条件下次生演替中的植被发展规律, 是当前研究新建高速公路裸露边坡生态恢复工程中植物配置与应用所急需, 具有重要的现实意义。

高速公路岩石开挖边坡的植被恢复属于次生演替范畴, 一类是裸露坡面经历长期自然风化后, 出现零星植株进而形成植被的缓慢过程; 一类是在裸露坡

收稿日期: 2009-01-20

修回日期: 2009-08-18

资助项目: 山东省交通厅科研资助项目“半干旱地区高速公路路堑边坡生态防护技术研究”(2009 Y25)

作者简介: 陈海波(1974—), 男(汉族), 山东省成武县人, 博士研究生, 主要研究方向为园林绿化、水土保持及生态修复。E-mail: beijing2058@tom.com。

面直接采取客土喷播、植生带绿化等生态防护方式进行快速植被重建,通过植物物种间竞争和对土壤环境的适应调整,逐渐形成过渡的演替群落,最终实现生态恢复^[9]。岩石边坡植物群落次生演替一般是趋向于恢复到受破坏前原生群落的类型,人为干预的恢复速度远远快于自然恢复速度,其所经历的阶段,往往决定于恢复方式中的土壤、植物配置及施工工艺。演替持续时间还受当地环境和人为干扰程度的影响^[10-14]。在植被的演替过程中,尤其是客土喷播情形下初期的草本植被向草灌型植被过渡时期内,物种间竞争加剧,形成群落各个层中数量最多,盖度最大,群落学作用最明显的物种。优势植物种类组成是植物群落的重要特征,通常以植物的优势度为原则确认,评价人工恢复群落次生演替过程中的优势种群特征,包括物种重要值构成、生态位宽度分布和生态位重叠情况,从而分析探讨植被恢复中从初极到终极的各个演替时期规律。对比筛选出自然演替中的当地物种,遵循并利用植被恢复演替规律,能够为边坡生态修复工程提供加速演替进程,减少演替阶段的具体方案,最终实现降低高速公路边坡生态植被防护成本和风险的目的。

本文以山东济青南线济南至莱芜段高速公路(简称济莱高速公路)为研究对象,通过对生态修复和自然恢复的岩石路堑边坡生态植被进行实地样方调查,对比自然和人工两种类型的次生演替植被类型,采用种类组成、群落类型和重要值变化等指标分析优势种群确定和生态位计测,总结出边坡植被恢复初期的潜在演替规律,可直接为高速公路生态重建与恢复工程提供重要科学依据。

1 概述

1.1 工程概况

济莱高速公路,又称国道主干线京沪线辅线济南至莱芜高速公路工程,是国道主干线京沪、京福高速公路在山东境内重合段的重要辅线,是山东省目前惟一被交通部列为“典型示范工程”的项目。起始于济南市绕城高速公路以西的港沟南,终至莱芜市北,路线全长 75.493 km。研究区位于鲁中山区腹地,沂蒙

山北部,泰山东麓,地理坐标为东经 117°10—117°40,北纬 36°38—36°45 之间;属暖温带半湿润季风型大陆性气候,春季干旱,多风,夏季高温,多雨,秋季温和,少雨,冬季干燥、寒冷;多年平均降雨量为 640.5 mm,平均气温 13.7℃,极端最高气温 41.7℃,极端最低气温 -18.3℃。沿线以农业植被为主,主要分布棕壤、褐土、潮土、砂姜黑土、风砂土 5 个土类;原生植被以温带落叶阔叶林为主,主要植被类型包括松类、侧柏、刺槐为主的乔木林,黄荆、酸枣、胡枝子等灌木以及黄背草、白草、狗尾草、鬼针草、百里香、结缕草、羊胡子草等草本植物。济莱高速公路已于 2005 年初开工建设,2007 年底建成试通车,同时开展了石质边坡客土喷播生态防护试验工程,本文正是将边坡生态防护工程作为研究对象。

1.2 样地划分

目前,济莱高速岩石路堑边坡的植被恢复情况可分为两种类型。一种是开挖后的裸露岩石坡面没有任何处理,在近一年的时间里进行了缓慢的自然次生演替;另一种则是开挖后的裸露岩石坡面通过客土喷播、植生带绿化等工艺进行快速绿化。在这种人为强干扰下的次生演替过程中,快速实现植被恢复。由于恢复时间短,两种类型的演替都处于初期过程。自然恢复的次生演替中,以零星出现的本地草本植物为主,极少有灌乔木等次生植物出现,植被覆盖度低,季节性差异明显;人工恢复的次生演替中,以外引的草灌植被结合为主,少有乔木出现,植被覆盖度高,季节性变化小。

1.3 研究方法

综合考虑以上特点和调查指标的要求,选择具有代表性的岩石路堑边坡植物群落进行样地调查,对济莱高速第 4、7、9 合同路段(以路面施工路桩为准)的自然植被恢复次生演替和人工植被恢复次生演替岩石坡面进行样方调查,分别统计地块内乔、灌、草、藤本各层植物种类及个体数,样方面积分别为:乔 5 m × 5 m,灌 2 m × 2 m,草 1 m × 1 m。为保证调查数据的有效性,自 2007 年 6 月至 2008 年 10 月,单次调查样方数目见表 1。此后,每隔 2 月重复对同一地块内的样方进行调查,共 9 次。

表 1 演替植被调查样方数目及时间

演替类型	第 4 合同路段			第 7 合同路段			第 9 合同路段			合计
	乔	灌	草(藤)	乔	灌	草(藤)	乔	灌	草(藤)	
自然次生演替	—	—	4	—	—	4	—	—	4	48
人工次生演替	3	3	6	3	3	6	3	3	6	

注:调查时间为 2007 年(6 月,8 月,10 月,12 月)和 2008 年(2 月,4 月,6 月,8 月,10 月);自然次生演替中极少有木本植物出现,没有乔木和灌木样方调查,只记录物种数目。

本研究运用物种的重要值作为判断优势度的指标。常用重要值来表示不同种所占的比重。

对不同群落来说,重要值采用的指标不同(李景文,1981)。本研究采用日本学者沼田真的计测方法。

$$\text{重要值} = (\text{相对密度} + \text{相对频率} + \text{相对盖度} + \text{相对高度}) / 400 \quad (1)$$

式中:相对密度 = (某物种个体数/全部种的个体数之和) × 100;相对频率 = (某物种出现的样方数/全部种出现的样方数之和) × 100;相对盖度 = (某物种的盖度/全部种的盖度之和) × 100;相对高度 = 某物种植株平均高度/全部种植株平均高度之和 × 100。

利用式(1)计算样方中出现的所有植物种类的重要值,选出重要值明显高于其它物种的优势种群。

以重要值作为数量指标,采用公式(2),(3)对优势种群进行生态位宽度和生态位重叠计测。基于 Simpson 多样性指数的生态位宽度:

$$B_{si} = 1 - \sum_{j=1}^n P_{ij}^2 \quad (2)$$

式中: B_{si} ——Simpson 生态位宽度; $P_{ij} = N_{ij} / Y_i$, 即种 i 在资源位 j 中的重要值占该种在整个状态中总重要值的百分数; n ——资源状态总数,此处为样方组数。以下 n 有相同的含义。

Pianka 生态位重叠测度:

$$Q_{jk} = \left(\sum_{i=1}^n P_{ij} P_{ik} \right) / \sqrt{\sum_{i=1}^n P_{ij}^2 \sum_{i=1}^n P_{ik}^2} \quad (3)$$

式中: Q_{jk} ——表示种类 k 对种类 j 的生态位重叠; P_{ij}, P_{ik} ——由于种类 k 或种类 j 所利用的整个资源中第 i 种资源所占比例。

2 自然与人工恢复植被特征

2.1 自然恢复植被种群

在自然恢复植被的岩石边坡样地中共出现 16 种植物(表 2),隶属于 7 科,16 属。其 14 种草本植物中,禾本科和菊科植物约占所有草本植物的 79%,木本植物只分布荆条和酸枣两种低灌植物,无乔木。经历 1 a 多的自然演替恢复的植被群落中,初始群落和现有群落之间的物种变化并不明显,除岩石坡面上零星分布的植物(多出现在坡面边缘或平凹处)种类数目增多外,植被盖度仍然无从计量。荆条和酸枣两种植物是开挖坡面内保留的活根体发芽而成,生长缓慢,绿期短;所有的草本植物品种都是本地野生种,禾本科植物的分布相对较广,如狗尾草、马唐、黄花蒿等。由于各种野生植物之间的绿期差异较大,除 6—10 月外,其余时段的植株都已经死亡或枯萎,次年株体再由种生或部分根生。因此,常年坡面植被覆盖低,绝大部分岩石坡面仍然处于裸露状态。

表 2 自然恢复岩石坡面植物种类组成

植物科别	植物种类
禾本科	白羊草 [<i>Bothriochloa ischcemum</i> (Linn.) Keng]、大油芒 [<i>Spodiopogon sibiricus</i> Trin.]、鹅观草 [<i>Roegneria kamoji</i> Ohwi]、狗尾草 [<i>Setaria viridis</i> (Linn.) Beauv.]、黄背草 [<i>Themeda japonica</i> (Willd.) Tanaka]、马唐 [<i>Digitaria sanguinalis</i> (Linn.) Scop.]、野古草 [<i>Arundinella anomala</i> Stend.]
菊科	苦苣菜 [<i>Sonchus oleraceus</i> Linn.]、紫菀 [<i>Aster tataricus</i> Linn. f.]、刺儿菜 [<i>Cirsium setosum</i> (Willd.) MB.]、黄花蒿 [<i>Artemisia annua</i> Linn.]
唇形科	百里香 [<i>Thymus mongolicus</i> Ronn.]
豆科	米口袋 [<i>Gueldenstaedtia verna</i> (Georgi) Boriss. subsp. <i>multiflora</i> (Bunge) Tsui]
堇菜科	紫花地丁 [<i>Viola philippica</i> Cav.]
马鞭草科	荆条 [<i>Vitex negundo</i> Linn. var. <i>heterophylla</i> (Franch.) Rehd.]
鼠李科	酸枣 [<i>Ziziphus jujuba</i> Mill. var. <i>spinosa</i> (Bunge) Hu ex H. F. Chow.]

2.2 人工恢复植被种群

在人工恢复植被的岩石边坡样地中共出现 27 种植物(表 3),隶属于 10 科,27 属。其中,木本植物除当地次生荆条外,还增入了刺槐、马棘、沙棘、绣线菊、紫穗槐 5 种低灌木本植物,其中以紫穗槐和沙棘长势最好,无乔木分布,其余为草本植物,禾本科和豆科植物约占所有草本植物的 80%。在人工恢复植被群落演替过程中,初始群落和现有群落之间的物种变化非常明显。除了植物物种数量短期内明显增多外,与自

然恢复植被群落演替不同最明显的是植被覆盖度高,春夏秋三季均能达到 90%以上。引入的植物多为速生种,短期内(通常 1~2 个月)即可迅速生长覆盖坡面。初期多由草本植物组成,紫花苜蓿、多年生黑麦草、高羊茅等最具优势,逐渐由后起的草木樨、紫穗槐、马棘等介入,形成丰富植被群落。植被总体高度以草本植物为主体高度,通常为 15~30 cm,部分木本植物生长高度在 1 a 多时期内已达 2 m,单株冠幅达 2 m²,如刺槐。由于植被恢复的施工工艺不同和

试验中的植物配置差异,存在阴阳坡植物绿期的区别,在阴坡生境下,温度低,土体含水率相对较高,以紫花苜蓿+高羊茅+紫穗槐和草木樨+多年生黑麦草+沙棘+马棘两种群落最为适应,在阳坡生境下,光照时间长,温差大,土体含水率低,以紫花苜蓿+高

羊茅+马棘群落分布最广,当地草本植物增繁迅速,如葎草、狗尾草、马唐。

另外,以地锦类藤本植物为单一植物的植被种群多分布在高陡岩石坡面基部,最大长度为 1~2 m,夏秋两季盖度较高。

表 3 人工恢复岩石坡面植物种类的季节组成

物种	植被调查时间								
	200706	200708	200710	200712	200802	200804	200806	200808	200810
1							+	+	+
2			+	+	+	+	+	+	+
3		+	+	+	+	+	+	+	+
4		+	+	+	+	+	+	+	+
5							+	+	+
6		+	+	+	+	+	+	+	+
7	+	+	+	+	+	+	+	+	+
8		+	+	+	+	+	+	+	+
9		+	+	+			+	+	+
10							+	+	+
11		+	+	+	+	+	+	+	+
12							+	+	+
13						+	+	+	+
14		+	+	+	+	+	+	+	+
15	+	+	+	+	+	+	+	+	+
16						+	+	+	+
17		+	+	+	+	+	+	+	+
18		+	+				+	+	+
19		+	+	+	+	+	+	+	+
20			+	+	+	+	+	+	+
21								+	+
22		+	+	+	+	+	+	+	+
23							+	+	+
24		+	+	+	+	+	+	+	+
25		+	+	+	+	+	+	+	+
26		+	+	+	+	+	+	+	+
27								+	+

注: 1 扁穗莎草 (*Cyperus compressus* Linn); 2 刺槐 (*Robinia pseudoacacia* Linn); 3 地锦 [*Parthenocissus tricuspidata* (Sieb. et Zucc.) Planch.]; 4 多年生黑麦草 (*Lolium perenne* Linn.); 5 高粱 [*Sorghum bicolor* (Linn.) Moench]; 6 高羊茅 (*Festuca elata* Keng ex E. Alexeev); 7 狗尾草 [*Setaria viridis* (Linn.) Beauv.]; 8 胡枝子 (*Lespedeza bicolor* Turcz.); 9 黄花蒿 (*Artemisia annua* Linn.); 10 鸡矢藤 [*Paederia scandens* (Lour.) Merr.]; 11 结缕草 (*Zoysia japonica* Steud.); 12 荆条 [*Vitex negundo* Linn. var. *heterophylla* (Franch.) Rehd.]; 13 葎草 [*Humulus scandens* (Lour.) Merr.]; 14 马棘 (*Indigofera pseudotinctoria* Matsum); 15 马唐 [*Digitaria sanguinalis* (Linn.) Scop.]; 16 普通小麦 (*Triticum aestivum* Linn.); 17 牵牛 [*Pharbitis nil* (Linn.) Choisy]; 18 球穗苔草 (*globularis* Linn.); 19 沙打旺 (*Astragalus adsurgens* Pall.); 20 沙棘 (*Hippophae rhamnoides* Linn.); 21 绣线菊 (*Spiraea salicifolia* Linn.); 22 燕麦 (*Avena sativa* Linn.); 23 野古草 (*Arundinella anomala* Steud.); 24 竹节草 [*aciculatus* (Retz.) Trin.]; 25 紫花苜蓿 (*Medicago sativa* Linn.); 26 紫穗槐 (*Amorpha fruticosa* Linn.); 27 草木樨 (*Melilotus suaveolens* Ledeb.)。

2.3 不同次生演替的差异性

自 2007 年 6 月起,通过 9 次不同月份对自然恢复和人工恢复的岩石坡面调查发现,采用客土喷播技

术和植生带绿化方式恢复的岩石坡面在施工后的 2 月内,植被从零星分布的 2 种野生草本植物迅速增加到 16 种植物(图 1),而开挖后的岩石边坡没有采用

任何防护工艺,自然恢复的植被无明显变化(调查时仅发现多 1 种植物类型)。

从 2007 年 8 月至 12 月期间,两种类型植被的植物种数基本稳定,人工恢复次生演替植被的植被覆盖从 50% 逐渐增至 80%,植株体密度和高度同样增加,已基本实现了岩石坡面的植被恢复效果;自然恢复次生演替的植被覆盖仍然极低,仅零星分布草本植物。在经历 2007 年 12 月至 2008 年 2 月季节性周期过渡后,次年的植物种数相应均有增加,其中人工恢复次生演替类型最高已达 27 种,而自然恢复次生演替类型最高仅为 5 种,无论从植株密度、高度、多度和植被盖度、绿度等各项指标比较,人工恢复的次生演替植被比自然恢复具有显著优势。

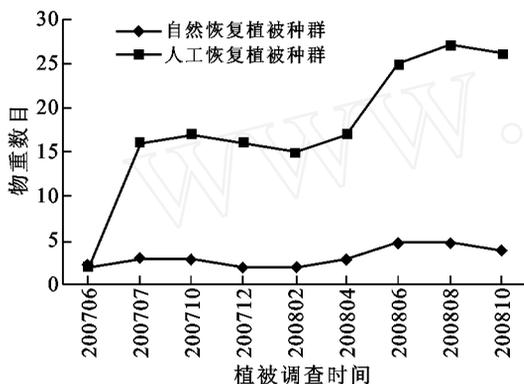


图 1 次生演替物种数的季节变化

从图 1 中可以看出,坡面植物生长具有季节性周期变化,两种类型的次生演替植被均以夏 8 月份数值为峰值,6 月和 10 月值相对较小,但不甚明显,而 12 月和次年 2 月是生长期中最小的区段,说明在山东地区范围内,坡面植物生长旺季多为夏秋两季,而春季为植物的返春恢复期,冬季为多数植物的休眠或半休眠期。自然恢复的次生演替过程中,随着调查时间的进行,植物物种类型基本不缓慢增长过程;人工恢复的次生演替过程中,植物物种除施工完成后的两月内迅速增长外,经历换季周期后的次生春季也出现了明显的增长趋势,其增加部分的植物物种多为当地野生种,这样就使群落的多样性、丰富度和均匀度等都得到显著提高,视觉效果也逐渐趋于自然化,与周边原生植被融合。

由此说明,人工恢复植被的岩石试验边坡工程是一种理想的边坡生态修复方式。

3 优势植被物种特征

根据两种次生演替类型植被的调查对比发现,人工恢复植被群落内物种类型丰富,不同时期的植物分

布组成特征也有差异,通过植物的重要值计算,确定出不同时期内人工恢复植被群落的优势种群。灌木类植物包括紫穗槐(*F. l.*)、马棘(*P. m.*)、刺槐(*R. p.*)、沙棘(*R. l.*)、荆条(*V. h.*),豆科禾草包括紫花苜蓿(*S. l.*)、沙打旺(*A. a.*);禾本科草包括多年生黑麦草(*L. a.*)、高羊茅(*E. k.*)、狗尾草(*V. b.*)、马唐(*S. s.*)。

3.1 物种重要值

根据济莱高速岩石边坡人工恢复样方生态调查统计分析,可以得出济莱高速植物人工恢复岩石边坡人工次生植被群落的物种重要值,按调查时间排序结果见图 2。

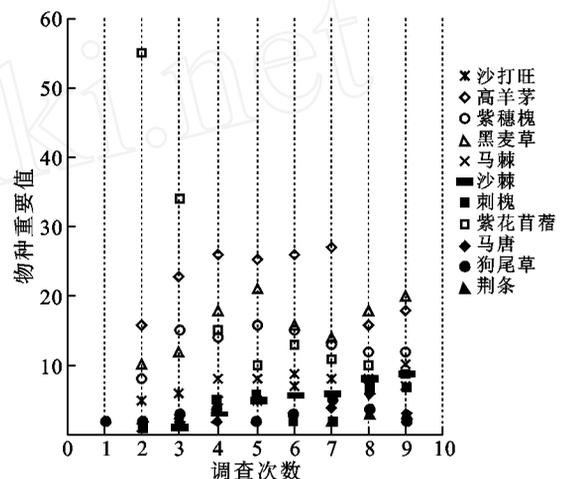


图 2 人工恢复植被物种重要值

自岩石边坡客土喷播施工后的两月内,物种由狗尾草和马唐组成的稀疏型植被迅速扩展为由紫花苜蓿和高羊茅组成的密丛型植被。此时,由于生长时间较短,客土喷播中的配置种子发芽期和苗期生长速率不一致,呈现为豆科和禾本科草本植物的双重组合,植被覆盖度能达到 60% 左右,其中紫花苜蓿重要值大于 50。随着时间延续,紫花苜蓿的重要值迅速降低,高羊茅和多年生黑麦草的重要值之和升高,总体上,3 种优势草本植物的重要值总和保持渐减趋势,但在 1.5 a 的调查时期内,它们始终占据整个植被种群中的优势。

因为紫穗槐的适应性强,种子发芽快,幼苗期植株发育生长迅速,所以在灌木类植物的重要值中表现突出,其次为马棘、沙棘和刺槐,当地生长的荆条重要值最低。在人工恢复植被的灌木物种中,以外引的 4 种灌木植物重要值增长最快,基本呈线性增长趋势,三者重要值之和的线性拟合方程为: $y = 3.1548x + 14.429$ 。

另外,沙打旺的重要值在群落中也表现出良好的增长趋势,说明沙打旺在长期的岩石边坡植被恢复过程中的物种竞争有一定的优势,杂草植物中的狗尾草

和马唐等植株数目有所增加,但在群落中的优势并不明显,始终保持着极低的水平。

3.2 生态位宽度

通过物种相对重要值(同一时期内,某物种重要

值与所有种重要值之和之比)大小排序,筛选出 3 种草本植物(*S. l.*, *L. o.*, *E. k.*)和 4 种灌木植物(*F. l.*, *P. m.*)为绝对优势物种,据此计算出 5 种植物的生态位宽度(表 4)。

表 4 优势种群的生态位宽度

月份	200706	200708	200710	200712	200802	200804	200806	200808	200810
高羊茅	—	0.642 2	0.792 8	0.661 5	0.655 7	0.654 2	0.767 1	0.466 1	0.566 7
紫穗槐	—	0.426 6	0.629 2	0.442 8	0.494 9	0.459 5	0.479 9	0.379 0	0.429 7
黑麦草	—	0.490 8	0.550 2	0.524 1	0.589 4	0.479 8	0.504 7	0.506 3	0.607 2
马棘	—	0.092 9	0.154 4	0.297 7	0.305 9	0.321 4	0.340 5	0.280 3	0.377 5
紫花苜蓿	—	0.915 1	0.939 5	0.464 1	0.358 9	0.416 7	0.427 4	0.331 3	0.349 9

坡面植被恢复初期,紫花苜蓿的生态位宽度值最高,两次测定都达到了 0.915 1 和 0.939 5,而经历 2007 年冬季后返青,其生态位宽度降低至 0.5 以下。紫花苜蓿为豆科草本植物,其根瘤的固氮作用对植被建群初期的坡面土壤成分和结构形成具有明显的良性促进作用,因此初期紫花苜蓿的高生态位宽度对植被效果是有利的。在 8 次高羊茅生态位宽度计测中,其数值变化区间为[0.466 1, 0.792 8]。从表 4 中可以看出,季节性变化明显,冬春两季略低于夏秋两季,同时,多年生黑麦草变化区间为[0.479 8, 0.607 2],基本保持着渐增趋势。

在坡面优势种群中,由于两种禾本科草本植物的植株高度最低,决定其生态位宽度值大小关键在于两类株群的密度和盖度,因此,以上数值解释并说明了初期坡面植被建群时多表现为禾本科草本植物为绝对优势。灌木优势种的生态位宽度值相对于草本优势种较低,初期的紫穗槐生态位宽度值表现突出,在一年半时间内基本保存平稳,而马棘则呈线性增长,灌木植物的总体生态位宽度值也呈上升趋势,说明坡面植被演替方向为多草型向草灌型过渡。

3.3 生态位重叠

生态位宽度较大(或较小)的种群,它们所构成的种对间生态位重叠大小不一,可见生态位宽度与生态位重叠程度没有相关性^[15]。将表 4 中的 5 种优势物种排序为:(1) *S. l.*, (2) *E. k.*, (3) *L. o.*, (4) *F. l.*, (5) *P. m.*,并分别计测在 2007 年 10 月和 2008 年 10 月的生态位重叠值(NOV),结果生成下列矩阵式。

$$NOV = \begin{bmatrix} 1.000 & 0.196 & 0.227 & 0.166 & 0.160 \\ 0.103 & 1.000 & 0.352 & 0.106 & 0.112 \\ 0.116 & 0.133 & 1.000 & 0.097 & 0.104 \\ 0.081 & 0.072 & 0.061 & 1.000 & 0.311 \\ 0.085 & 0.074 & 0.064 & 0.142 & 1.000 \end{bmatrix}$$

式中,矩阵对角线右上方为 2008 年 10 月的优势种群 NOV 值,左下方为 2007 年 10 月的优势种群 NOV 值。

两次调查数据后的优势物种生态位重叠计测结果显示,在植被恢复初期,紫花苜蓿、高羊茅和多年生黑麦草 3 种草本植物的生态位宽度均很高,但对应的生态位重叠却相对较低,因此,分布较为广泛,其适应能力强,其中,多年生黑麦草和高羊茅的相似性程度较高,因此两者所对应的生态位重值均大于紫花苜蓿。两种优势灌木均为低矮型豆科灌木,在资源利用方面有较大的生态一致性,资源竞争相对较强,两次计测值分别为 0.142 和 0.311,而分别与草本植物的生态位重叠值对比中,与紫花苜蓿竞争强于多年生黑麦草和高羊茅,三者间的计测算术平均比值分别为 0.083/0.068 和 0.163/0.105。从总体上来看,2007 年 10 月的数值整体低于 2008 年 10 月,但数值均不高,说明随着时间延长,坡面植被恢复中的物种间竞争逐渐增强,但并没有达到明显的限制作用。这充分表明经历 1.5 a 的边坡植被恢复时期后,群落内各种群对资源利用的相似性程度仍然极低,种群立木间的利用性竞争不强,各种群还没有形成对资源共享的状态,草本型种群仍然在群落中占优势,正好反映了群落处于演替阶段。

4 结论

与自然植被恢复相比,客土喷播等边坡生态防护工程可以加速植被演替进程,快速实现边坡的生态恢复。初期速生的次生植被以草本植物为主,越冬、返青等季节性调整后,灌木生长逐渐转强,形成了草本+灌木的丰富型植被,坡面植被的物种多样性和丰富度得以提升。试验边坡工程的次生演替植被中,紫花苜蓿、高羊茅、紫穗槐、多年生黑麦草、马棘等物种的重要值较大,生态位宽度均明显大于其它物种,其数

值变化表明演替趋势为豆科型草本转向豆禾型草本,以及多草型转向草灌型。优势物种间的生态位重叠值较低,说明在竞争不强的条件下,坡面植被种群正处于次生演替的初级阶段。

本文以高速公路路堑边坡为对象,从时间角度分析了自然与人工恢复两种植被恢复类型的整体次生演替规律,尤其是对演替进程中的初期进行了细致的观测分析。在进一步的研究中,应增加从坡位、坡度、坡向等空间角度讨论其差异性,量化边坡生态防护工程中植物材料和工程措施对加速演替的作用机率大小。

[参 考 文 献]

- [1] 孙乔宝,甄晓云. 高速公路建设对生态环境的影响及恢复[J]. 昆明理工大学学报,2000,25(2):68-71.
- [2] 孙青,卓慕宁,朱利安,等. 论高速公路建设中的生态破坏及其恢复[J]. 土壤与环境,2002,11(2):210-212.
- [3] 卓慕宁,李定强,贺新良,等. 论高速公路建设中的水土保持生态恢复[J]. 水土保持研究,2003,10(4):209-211.
- [4] 孙中党,赵勇,吴明作. 公路建设项目对生态环境影响及保护对策[J]. 公路交通科技,2004,21(3):128-131.
- [5] 胥晓刚. 高速公路路域生态恢复研究[D]. 雅安:四川农业大学,2004.
- [6] 魏凤虎. 高速公路生态系统评价指标体系的研究[D]. 西安:长安大学,2003.
- [7] 闫平. 高速公路绿化现状、功能及通病分析[J]. 公路交通科技:应用技术版,2007(9):165-166.
- [8] 刘春霞,韩烈保. 高速公路边坡植被恢复研究进展[J]. 生态学报,2007,27(5):2090-2098.
- [9] 刘春霞. 高速公路裸露坡面植被恢复机理的研究[D]. 北京:北京林业大学,2006.
- [10] 高小虎. 植生基材在喷射技术中的应用研究[D]. 北京:北京林业大学,2008.
- [11] 曲仲湘,吴玉树,王焕校,等. 植物生态学[M]. 北京:高等教育出版社,1983:221.
- [12] 舒安平,蒋鹏飞,徐永年,等. 湖南临湘至长沙高速公路石质边坡的生态防护技术[J]. 中国水土保持科学,2006(S1):48-51.
- [13] 蒋鹏飞,舒安平,沈小明,等. 客土喷播在临长高速公路石质边坡防护中的应用[J]. 湖南交通科技,2002,28(4):68-69.
- [14] 舒安平,苏建明,冷剑,等. 半干旱地区生态护坡工程中客土养分衰减特征与恢复趋势[J]. 水土保持学报,2008,22(05):12-16.
- [15] 向悟生,李先琨,苏宗明,等. 元宝山冷杉群落主要树木种群生态位的初步研究[J]. 武汉植物研究,2002,20(2):105-212.
- [16] 陈艳瑞,尹林克. 人工防风固沙林演替中群落组成和优势种群生态位变化特征[J]. 植物生态学报,2008,32(5):1126-1133.

(上接第 42 页)

贾恒义、张朝生等^[8-9]的研究也表明影响土壤微量元素含量的因素有母质、土壤机械组成、土壤有机质、pH 和其它营养离子浓度平衡关系等。我们研究发现 Mn 与其它元素,Fe 与其它元素(Na 为显著相关),Mg 与 Na 均达到显著相关,另外在我们研究区域内,Zn,Mn,Na,Mg,Fe 等因子均与有机质无显著相关关系。

[参 考 文 献]

- [1] 袁志忠,杨振宇,李廷兴,等. 杉木人工林及其采伐迹地林下植被物种多样性研究[J]. 福建林业科技,2008,35(2):57-59.
- [2] 吴彩霞,傅华,裴世芳,等. 不同草地类型土壤有效态微量元素含量特征[J]. 干旱区研究,2008,25(1):137-144.
- [3] 张永娥,王瑞良,靳绍菊,等. 土壤微量元素含量及其影响因素的研究[J]. 土壤肥料,2005(5):35-37.
- [4] 朱立博,郑勇,曾昭海,等. 呼伦贝尔典型草原不同植被类型植被与土壤特征研究[J]. 中国草地学报,2008,30(3):32-36.
- [5] 刘育红. 三江源地区不同退化程度草地土壤微量元素含量研究[J]. 西北农业学报,2007,16(4):101-105.
- [6] 杨国治,潘佑明. 土壤中重金属元素主成份分析[J]. 土壤通报,1986,17(4):109-111.
- [7] 愈元春,曾曙才,罗汝英,等. 江南丘陵林区森林土壤微量元素的含量与分布[J]. 安徽农业大学学报,1998,25(2):167-173.
- [8] 贾恒义,彭琳. 黄土丘陵区草地土壤微量元素的初步研究[J]. 草业科学,1990,7(1):35-38.
- [9] 张朝生,陶澍. 天津市平原土壤微量元素含量的空间自相关研究[J]. 土壤学报,1995,32(1):50-57.