

坡面植被恢复试验示范区植被群落特征初步研究

韩煜¹, 赵廷宁¹, 陈琳¹, 柳立兵²

(1. 北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083; 2. 延庆县水土保持工作站, 北京 延庆 102100)

摘要:以延庆上辛庄开发建设项目坡面试验小区为研究对象, 采用样方调查法, 对 36 个小区的植被群落特征进行了调查, 探讨了各个小区植被群落的物种组成变化, 并运用物种丰富度指数、多样性指数和均匀度指数对各个小区的物种多样性进行了比较分析。研究发现: ①对于土质边坡, 植草+截水沟、等高绿篱埂等 8 种护坡方式比较适宜, 植物成活成长良好; 对于石质边坡, 砖砌挡墙+生态袋等 4 种护坡方式适应性较好; ②选用单一植物进行护坡, 小区物种多样性变化出现两种趋势, 一种是原有物种仍居优势地位, 一种是原有物种逐渐退化, 被侵入物种取代; ③在对照小区中, 自然恢复形成的植物群落多样性较好, 向着丰富、均匀、稳定的群落发展。

关键词:坡面试验小区; 植被群落; 物种多样性

中图分类号: S157.9; S718.542

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)04-0188-07

Study on the Structure of Vegetation Community on Slope Revegetation Experimental Fields

HAN Yu¹, ZHAO Ting-ning¹, CHEN Lin¹, LIU Li-bing²

(1. College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Soil and Water Conservation Station, Yanqing, Beijing 102100, China)

Abstract: With the slope experimental fields of development and construction projects in Shangxin village of Yanqing as the studying sites, this paper selected investigation area to study the vegetation structures of community of 36 experiment fields, discussed the change of community composition, analyzed species diversity of community by using species diversity index and uniformity index of every investigated fields. The results indicated that there were several slope protection measures applicable for soil slope or stone slope. In the fields with one-single species, the original one gradually turned to be the dominant species or degenerated by others. In the contrast fields, the species diversity index and uniformity index of natural vegetation restoration was high and grew to abundant and stable community.

Key words: slope experimental fields; vegetation community; species diversity

植物群落是在一定生境条件下由不同植物构成的一个总体。在植物群落中, 不同植物物种之间以及它们与环境之间保持着一种动态平衡^[1]。植被群落特征是描述群落结构和功能复杂性的度量指标, 在植被恢复过程中物种多样性的变化反应了植被的恢复程度。研究植被群落特征, 能够了解群落的结构、功能和稳定性^[2], 揭示植被群落与环境之间的相互关系。

随着我国经济的快速发展, 公路、铁路、厂矿、房地产等开发建设项目日益增多, 在这些项目的建设过程中, 经常要破坏原有地貌景观和植被群落, 形成大

量裸露坡面和次生裸地, 引发严重的水土流失, 从而导致自然生态系统的退化。因此, 如何修复由于开发建设项目产生的受损坡面以及对坡面进行植被恢复, 成为开发建设项目中需要研究和解决的问题。目前, 对于开发建设项目植被群落特征已经做了一些研究^[3-5], 大多是关于植被物种多样性的分析及评价, 涉及的项目类型主要是矿区和公路, 针对开发建设项目不同护坡措施中的植被群落特征研究还较少见。作为北京市水土保持科技示范园, 延庆县上辛庄水土保持坡面试验小区是不同类型开发建设项目多种植被

收稿日期: 2010-03-20

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示范”(200904030)

作者简介: 韩煜(1983—), 女, 河北唐山市人, 硕士研究生, 主要研究方向: 工程绿化。E-mail: cucuhy@126.com

通信作者: 赵廷宁(1962—), 男, 河北张家口市人, 教授, 主要研究方向: 工程绿化。E-mail: zhtning@bjfu.edu.cn

护坡方式的综合小区,具有较强的代表性和示范作用,因此研究不同坡面试验小区的植被群落特征,不仅能为开发建设项目植被护坡措施的选择提供依据,还能为植被恢复建设提供理论支撑。

1 研究区域概况

延庆县上辛庄开发建设项目水土保持试验示范基地,位于延庆县城东南方向,地理坐标为东经 $116^{\circ}03'17''-116^{\circ}03'55''$,北纬 $40^{\circ}25'10''-40^{\circ}27'20''$,距县城约 5 km,占地 2.19 hm²,该基地于 2007 年 10 月完成 36 个植被护坡小区的设计和施工,各小区均配套有喷灌设施,调查时各小区植被恢复时间为 2 a。

该区属于妫水河大榆树小流域,年降水量为 474.5 mm,主要集中在 6—9 月,约占全年降水总量的 84%。年平均气温 8.5℃,≥10℃ 的年最大积温 3 600℃,年最小积温 2 000℃。无霜期平均为 150~160 d。天然分布有荆条(*Vitex chinensis*)、铁杆蒿(*Artemisia sacrorum*)、黄花蒿(*Artemisia annua*)、羊胡子草(*Carex rigescens*)、白草(*Pennisetum centasiaticum*)、柴胡(*Bupleurum chinense*)、米蒿(*Artemisiadalai lamae*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)、灰菜(*Chenopodium album*)等植物。人工栽植有榆树(*Ulmus pumila*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)、杨树(*Populus davidiana*)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)等乔木树种,间有核桃(*Prunus persica*)、梨(*Pyrus pyrifolia*)、杏(*Prunus armeniaca*)等散生果树^[6]。

2 研究方法

2.1 植被调查方法

2009 年 7 月在试验示范基地进行了植被调查,以 36 个不同护坡措施的小区为调查对象,每个小区作为一个研究样地。按照小区编号依次对样地进行调查,小区面积为 45~60 m²,样地内乔木每株都进行调查,灌木和草本分别在坡上、坡中、坡下的中心位置各设一个样方,灌木样方为 2 m×2 m,草本样方为 1 m×1 m,共设样方 108 个。调查记录了每个样方内所有植物种类、株树/丛数、盖度、高度、生长状况等。

2.2 数据处理方法

2.2.1 物种重要值的计算 重要值是指物种在群落中的重要地位,以重要值为测度指标可以避免因物种个体大小、数量差异悬殊而导致过分地夸大一些个体小、但个体数极多的物种在群落中的作用,能够为辨别物种是建群种、优势种还是伴生种提供重要依据^[7-8]。重要值计算公式为:

$$IV_i = RD_i + RC_i + RF_i$$

式中: IV_i ——第 i 种的重要值; RD_i ——第 i 种的相对密度; RC_i —— i 种的相对盖度; RF_i ——第 i 种的相对频度。

2.2.2 物种多样性指数的计算 物种多样性指数是用来描述种的个体出现的紊乱和不确定性的指标,不确定性越高,多样性也就越高;它包括两个因素:其一是种类数目,其二是种类中个体分配上的均匀性;种类数目越多,多样性越大,种类之间个体分配的均匀性增加,也会使多样性提高^[2,9-11]。本文选用丰富度指数、多样性指数和均匀度指数作为各小区植物群落物种多样性的度量指标。

(1) 丰富度指数

$$\text{Margalef 指数: } R = \frac{S-1}{\ln N}$$

式中: S ——群落中的总种数; N ——群落中的个体总数。

(2) 多样性指数

$$\text{Simpson 指数: } D = 1 - \sum_{i=1}^S P_i^2$$

$$\text{Shannon-Weiner 指数: } H = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$$

式中: P_i ——第 i 种个体数占群落中所有种个体数的比例; S ——群落中的总种数。

(3) 均匀度指数

$$\text{Pielou 均匀度指数: } E = \frac{H}{H_{\max}} = \frac{H}{\ln S}$$

式中: H ——实际观察的种类多样性; H_{\max} ——最大的种类多样性; S ——群落中的总种数。

3 结果与分析

3.1 不同小区植被总体情况

自从进行边坡防护后,边坡植被状况发生了很大的改变,各个小区的植被种类、植被盖度、植株密度等均有不同,结果见表 1。盖度是反映植被群落结构的一个重要指标。从表 1 中可以看出,采用不同护坡措施进行植被恢复后,小区的植被盖度均有很大提高,盖度在 50% 以上的小区多达 24 个,有些以草本为主的小区盖度更是达到了 100% 以上,如 4 号和 26 号小区,盖度高达 122.3% 和 110.7%。而对照小区的盖度则低于 50%,如 8 号和 13 号小区,盖度分别为 15.2% 和 29.8%。这是因为边坡立地条件较差,不利于保水保土,对植物生长不利,而且植被的自然恢复也需要较长时间。盖度较高的小区则表明,该种护坡措施效果较好,而且对此类边坡较为适宜,在植被恢复过程中起到了促进作用。

3.2 不同小区植物群落物种组成的变化

根据坡面小区的边坡类型、坡向和坡比将调查小区划分为 3 类,用物种的重要值对群落特征及动态变化进行分析,结果见表 2。

表 1 不同小区植被基本情况

小区编号	边坡类型	护坡形式	植物种数	植被盖度/%	植株密度/(株·m ⁻²)
1	阴向土质边坡	植草护坡+水平截流沟	5	57.3	117
2	阴向土质边坡	植草护坡+Y 字形截流沟	4	52.3	43
3	阴向土质边坡	生态植被毯护坡	4	89.7	32
4	阴向土质边坡	土工格栅+客土护坡	8	110.7	41
5	阴向土质边坡	椰纤维植生毯+客土护坡	7	5.7	39
6	阴向土质边坡	六棱花砖护坡	4	60.4	103
7	阴向土质边坡	等高绿篱埂护坡	5	26.5	55
8	阴向土质边坡	对照小区	7	15.2	11
9	阴向土质边坡	对照小区	5	45.0	18
10	阳向土质边坡	松木桩+生态植被毯护坡	10	73.0	29
11	阳向土质边坡	三维金属网+植被袋护坡	6	57.1	21
12	阳向土质边坡	六棱花砖护坡	7	46.2	28
13	阳向土质边坡	对照小区	3	29.8	24
14	阳向土质边坡	铅丝石笼护坡	4	107.3	9
15	阳向土质边坡	六棱花砖+砾石护坡	8	32.2	27
16	阳向土质边坡	连锁转护坡	5	77.6	43
17	阳向土质边坡	仿木桩护坡	7	73.2	6
18	阳向土质边坡	废旧汽车轮胎护坡	5	88.8	54
19	阳向土质边坡	拱形护坡	6	49.8	11
20	阳向土质边坡	码石植被护坡	6	83.3	4
21	阳向土质边坡	平铺石笼植被护坡	4	77.0	5
22	阳向土质边坡	对照小区	6	27.7	14
23	阳向土质边坡	土壤渗流监测小区	6	7.2	37
24	阳向土质边坡	土壤渗流监测小区	6	56.5	29
25	阳向石质边坡	钻孔绿化护坡	5	21.0	7
26	阳向石质边坡	鑫三角工程生态袋护坡	9	122.3	10
27	阳向石质边坡	砖砌挡墙+植生袋护坡	7	108.6	16
28	阳向石质边坡	砖砌挡墙+植生袋护坡	4	75.0	17
29	阳向石质边坡	土工格栅+生态袋护坡	3	62.2	18
30	阳向石质边坡	生态砖护坡	8	34.4	10
31	阳向石质边坡	楔式六棱砖护坡	7	73.3	4
32	阳向石质边坡	钢筋笼生态袋护坡	5	93.6	27
33	阳向石质边坡	打孔植草护坡	3	97.2	10
34	阳向石质边坡	挂网喷播护坡	4	109.0	20
35	阳向石质边坡	半圆形种植槽护坡	7	97.0	15
36	阳向石质边坡	土工格室护坡	8	82.2	14

3.2.1 阴向土质边坡 1—9 号小区为土质边坡,坡比 1:2,坡向向北。

从表 1 中可以看出,1 号和 2 号小区重要值最大的为高羊茅(*Festuca arundinacea*)和结缕草(*Zoysia japonica*),其值为 2.41 和 1.04,最初的设计种仍为群落的优势种,但 2 号小区出现较多的入侵植物种。4 号小区沙打旺(*Astragalus adsurgens*)重要值最大,为 1.93,调查时没有发现胡枝子(*Lespedeza floribunda*);3 号和 5 号小区重要值最大的都是高羊茅,分别为 1.26 和 0.96,成为优势种。6 号小区为优势种为高羊茅和无芒雀麦(*Bromus inermis*);7 号小区侧柏(*Platycladus orientalis*)重要值最大,而且长势良好。

8 号和 9 号小区为对照小区,没有采取任何护坡

措施。从表 1 中可以看出,重要值最大的是狗尾草(*Setaria viridis*)和铁杆蒿,而且两个小区植物种类也较为相似,都有狗尾草、铁杆蒿、茵陈蒿(*Artemisia capillaris*)等。

通过对 1—9 号小区植物种重要值的分析可知,植草+截水沟护坡和等高绿篱埂护坡植物成活情况最好,适应性最好,因为截水沟和等高绿篱埂的存在能够更多地储蓄坡面降水,供给植物生长所需,有效解决了水分的限制作用,从而发挥植物的保水保土作用。土工格栅和六棱花砖护坡适应性一般,植生毯护坡措施适应性最差。在 1,3,4,5 号小区中,重要值最大的植物种都是高羊茅,成为优势草种,说明高羊茅在该地区的适应性强,在人工恢复植被时可以选择。

表 2 不同小区植物种的组成变化

小区 编号	护坡形式	设计植物种	调查植物种(重要值(由大到小排列))
1	植草护坡+ 水平截流沟	高羊茅	高羊茅(2.41)、铁杆蒿(0.19)、牛皮消(0.11)
2	植草护坡+ Y 字形截流沟	结缕草	结缕草(1.04)、苦卖菜(0.31)、茵陈蒿(0.25)、铁丝草(0.23)、高羊茅(0.18)、铁杆蒿(0.15)、细叶鸢葱(0.14)、狗牙根(0.14)、狗尾草(0.11)、胡枝子(0.10)
3	生态植被毯护坡	木槿、迎春、山杏、山桃、鸢尾、萱草、 高羊茅、苇状羊茅、二月兰、紫花地丁	高羊茅(1.26)、黄香草木樨(0.95)、萱草(0.33)、紫花地丁(0.29)、草木樨状黄芪(0.18)
4	土工格栅+ 客土护坡	胡枝子、高羊茅	沙打旺(1.93)、高羊茅(0.55)、早熟禾(0.32)、五叶地锦(0.20)
5	椰纤维生毯+ 客土护坡	沙打旺、无芒雀麦	高羊茅(0.96)、早熟禾(0.45)、黄香草木樨(0.38)、茵陈蒿(0.24)、细叶鸢葱(0.17)、花木兰(0.14)、刺儿菜(0.11)
6	六棱花砖护坡	无芒雀麦、 紫花苜蓿	高羊茅(1.19)、无芒雀麦(0.69)、铁杆蒿(0.52)、黄香草木樨(0.36)、草木樨状黄芪(0.24)
7	等高绿篱埂护坡	侧柏、沙棘、 荆条	侧柏(1.55);早熟禾(0.77)、草木樨状黄芪(0.64)、高羊茅(0.37)、铁杆蒿(0.27)、胡枝子(0.25)、茵陈蒿(0.13)、长叶铁扫帚(0.11)
8	对照小区	无	狗尾草(1.19)、铁杆蒿(0.31)、广布野豌豆(0.27)、灰绿藜(0.17)、茵陈蒿(0.17)、细叶鸢葱(0.14)、苦卖菜(0.13)
9	对照小区	无	铁杆蒿(1.00)、茵陈蒿(0.35)、苦卖菜(0.28)、细叶鸢葱(0.21)、歧茎蒿(0.20)、紫花苜蓿(0.20)、狗尾草(0.20)
10	松木桩+ 生态植被毯护坡	荆条、胡枝子、花木兰;百脉根、小冠 花、紫花地丁、二月兰;五叶地锦、金 银花、扶芳藤	紫花地丁(0.50)、粉花绣线菊(0.47)、沙打旺(0.35)、茵陈蒿(0.30)、铁杆蒿(0.28)、白香草木樨(0.24)、鸢尾(0.22)、桃树(0.20)、迎春(0.19)
11	三维金属网+ 植被袋护坡	早熟禾	早熟禾(1.62)、甘野菊(0.39)、茵陈蒿(0.33)、铁杆蒿(0.31)、小冠花(0.24)、胡枝子(0.11)
12	六棱花砖护坡	五叶地锦	狗尾草(0.84)、苦卖菜(0.57)、白香草木樨(0.40)、铁杆蒿(0.28)、茵陈蒿(0.20)、刺儿菜(0.14)、地黄(0.13)、狭苞斑种草(0.13)
13	对照小区	无	地黄(1.10)、软毛虫实(0.85)、狗尾草(0.52)、胡枝子(0.20)、茵陈蒿(0.12)
14	铅丝石笼护坡	扦插旱柳	旱柳(1.91);白香草木樨(0.29)、委菱菜(0.21)、铁杆蒿(0.25)、长叶铁扫帚(0.12)、黄香草木樨(0.12)、沙打旺(0.11)、
15	六棱花砖+ 砾石护坡	紫花苜蓿	狗尾草(0.84)、铁杆蒿(0.65)、早熟禾(0.34)、委菱菜(0.16)、茵陈蒿(0.12)、紫花地丁(0.12)、百蕊草(0.11)、紫花苜蓿(0.10)
16	连锁砖护坡	高羊茅、二月兰	高羊茅(1.86)、百脉根(0.31)、草木樨状黄芪(0.27)、胡枝子(0.24)、沙打旺(0.18)、铁杆蒿(0.14)
17	仿木桩护坡	连翘、野牛草	连翘(1.60);铁杆蒿(0.86)、茵陈蒿(0.17)、高羊茅(0.12)
18	废旧汽车轮胎护坡	沙打旺、紫花苜蓿	沙打旺(2.44、铁杆蒿(0.30)、紫花苜蓿(0.26)
19	拱形浆砌石 骨架护坡	波斯菊	高羊茅(1.26)、铁杆蒿(0.95)、早熟禾(0.51)、委陵菜(0.29)
20	码石植被护坡	旱柳、荆条	旱柳(1.80)、铁杆蒿(0.74)、茵陈蒿(0.27)、沙打旺(0.19)
21	平铺石笼植被护坡	旱柳、荆条	旱柳(1.67)、地黄(0.39)、苦卖菜(0.27)、铁杆蒿(0.20)、紫花地丁(0.20)、茵陈蒿(0.14)、杏树(0.13)
22	对照小区	无	铁杆蒿(1.33)、细叶鸢葱(0.69)、茵陈蒿(0.27)、地黄(0.23)、藤长苗(0.23)、草木樨状黄芪(0.13)、长叶铁扫帚(0.13)
23	对照小区	无	灰绿藜(1.66)、狗尾草(0.72)、软毛虫实(0.50)
24	植物护坡	紫花苜蓿、二月兰、波斯菊、野菊花、 紫花地丁	紫花地丁(1.22)、铁杆蒿(0.48)、紫花苜蓿(0.34)、甘野菊(0.31)、高羊茅(0.30)、苦卖菜(0.11)

续表 2:

25	钻孔绿化护坡	爬山虎	早熟禾(2.23)、波斯菊(0.29)、五叶地锦(0.24)、胡枝子(0.24)
26	鑫三角工程生态袋护坡	高羊茅、旱柳、胡枝子、沙打旺	紫穗槐(1.27)、胡枝子(0.82)、铁杆蒿(0.37)、沙打旺(0.31)、旱柳(0.12)、长叶铁扫帚(0.10)
27	砖砌挡墙+植生袋护坡	沙打旺、紫花苜蓿	沙打旺(2.16)、黄香草木樨(0.38)、紫花苜蓿(0.33)、铁杆蒿(0.13)
28	砖砌挡墙+植生袋护坡	高羊茅	紫花苜蓿(0.76)、铁杆蒿(0.57)、茵陈蒿(0.37)、波斯菊(0.33)、狗尾草(0.31)、黄香草木樨(0.17)、长叶铁扫帚(0.15)、草木樨状黄芪(0.10)
29	土工格栅+生态袋护坡	高羊茅、多年生黑麦草、波斯菊、紫穗槐	高羊茅(1.77)、波斯菊(0.67)、紫花苜蓿(0.17)、紫穗槐(0.15)、茵陈蒿(0.13)、狗尾草(0.11)
30	生态砖护坡	野牛草	铁杆蒿(0.64)、狗尾草(0.35)、长叶铁扫帚(0.34)、波斯菊(0.32)、胡枝子(0.11)
31	楔式六棱砖护坡	结缕草	紫花苜蓿(1.35)、结缕草(0.57)、沙打旺(0.47)、爬山虎(0.35)
32	钢筋笼生态袋护坡	结缕草、五叶地锦	结缕草(0.63)、高羊茅(0.63)、铁杆蒿(0.43)、狗尾草(0.35)
33	钻孔植草护坡	爬山虎、结缕草	沙打旺(0.59)、黄香草木樨(0.40)、铁杆蒿(0.40)、五叶地锦(0.36)、紫花苜蓿(0.34)、榆树(0.28)、爬山虎(0.27)
34	挂网喷播护坡	苜蓿、沙打旺、波斯菊、二月兰;紫穗槐,臭椿;胡枝子,荆条,柠条;山杏、山桃	铁杆蒿(1.15)、沙打旺(1.14)、紫花苜蓿(0.28)、高羊茅(0.23)、茵陈蒿(0.19)
35	半圆形种植槽护坡	绣线菊、鸢尾、金银花、扶芳藤、五叶地锦	铁杆蒿(0.77)、沙打旺(0.58)、鸢尾(0.53)、高羊茅(0.30)、连翘(0.21)、榆树(0.13)
36	土工格室护坡	苜蓿、沙打旺、波斯菊、二月兰;紫穗槐,臭椿;胡枝子,荆条,柠条;山杏、山桃	铁杆蒿(1.50)、沙打旺(0.63)、茵陈蒿(0.26)、苦卖菜(0.15)、高羊茅(0.11)

3.2.2 阳向土质边坡 10—24 号小区为土质边坡，坡比 1：1.5，坡向西。

从表 1 中可以看出，10 号小区植物种重要值在 0.19~0.50 之间，各物种相差不大，无法体现出优势种；17 号小区连翘的重要值最大，在群落中处于优势地位。在 11、16 和 18 号小区中，重要值最大的分别为早熟禾 (*Poa annua*)、高羊茅和沙打旺，优势种与设计种一致，且植物长势也较好。12 号和 15 号小区重要值最大的都是狗尾草，设计种已经退化。14、20 和 21 号小区的植物都以旱柳 (*Salix matsudana*) 为主，且 3 个小区旱柳的重要值最大，分别为 1.91、1.80 和 1.67。19 号小区重要值最大的是高羊茅，其值为 1.26，调查时没有发现波斯菊 (*Cosmos bipinnatus*)，这是由于波斯菊为一年生草本花卉，退化速度快。

通过对 10—24 号小区植物种重要值的分析可知，三维金属网+植被袋、连锁砖+植物和废旧汽车轮胎+植物 3 种护坡措施适应性较好，植物成活率高；铅丝石笼、平铺石笼和码石栽植旱柳的护坡方式也比较适宜，且旱柳长势良好。由于上述几种护坡措施首先改变了坡面微地形，增加了粗糙度，提高了坡面蓄水保土

能力，再结合植物覆盖，从而达到了防止坡面水土流失的作用，而单纯的植物护坡效果不明显。

3.2.3 阳向石质边坡 25—36 号石质边坡，坡比 1：1，坡向南。

从表 1 中可以看出，25 号小区重要值最大的是早熟禾，为 2.23，种植的爬山虎 (*Parthenocissus tricuspidata*) 已经退化；33 号小区植物种重要值在 0.27~0.59 之间，优势种不明显。在 26、27、29 和 32 号小区中，原来栽植的植物在群落中的重要值仍较大，如 26 号小区的胡枝子和沙打旺、27 号小区的沙打旺、29 号小区的高羊茅以及 32 号小区的结缕草，说明这些植物种在群落中仍处于优势地位。34、35 和 36 号三个小区重要值排在前两位的植物种均为铁杆蒿和沙打旺，说明在植物生长的过程中，有一些乡土草种伴生，而且在竞争中逐渐成为优势种，如铁杆蒿。

与前面的土质坡面相比，岩石边坡的护坡方式较少，而且难度较高。通过对 25—36 号小区植物种重要值的分析可知，在高陡岩石坡面上不适合采用钻孔植草护坡，因为钻孔尺寸相对于坡面太小，而坡度又太大，孔内不能保土存水，从而限制了植物的成活和

生长。适宜性较好的护坡方式是工程措施+植生袋(生态袋),袋中的基质材料能够为植物提供生长所需的土壤和养分,还能蓄水保墒,结合工程措施的拦挡防护,才能从根本上防治岩石坡面的水土流失。

3.3 不同小区植物群落物种多样性的变化

以不同小区的丰富度指数、多样性指数和均匀度指数为测度指标,对各个小区的植物群落物种多样性进行分析,结果见表 3。

表 3 不同小区植物群落的多样性指数比较

小区编号	丰富度 指数	多样性 指数	多样性 指数	均匀度 指数
1	0.78	0.02	0.07	0.04
2	2.61	0.45	1.18	0.44
3	0.87	0.42	0.83	0.51
4	0.82	0.41	0.79	0.57
5	1.07	0.56	1.14	0.55
6	0.79	0.48	0.87	0.54
7	1.17	0.65	1.32	0.64
8	2.29	0.71	1.62	0.74
9	2.50	0.80	1.91	0.79
10	2.48	0.80	2.01	0.81
11	1.20	0.38	0.85	0.47
12	2.46	0.64	1.57	0.63
13	1.40	0.61	1.20	0.62
14	1.29	0.28	0.67	0.35
15	1.83	0.69	1.52	0.69
16	1.03	0.26	0.60	0.34
17	1.24	0.57	1.05	0.54
18	0.43	0.09	0.21	0.19
19	0.87	0.71	1.29	0.93
20	0.77	0.55	0.95	0.68
21	1.47	0.55	1.19	0.61
22	1.61	0.73	1.53	0.79
23	0.64	0.41	0.76	0.55
24	1.34	0.29	0.14	0.07
25	1.00	0.35	0.71	0.51
26	1.04	0.67	1.28	0.71
27	0.99	0.31	0.45	0.33
28	2.07	0.87	1.52	0.66
29	1.11	0.54	0.95	0.53
30	2.01	0.78	1.74	0.79
31	1.21	0.64	1.30	0.80
32	1.83	0.79	2.16	0.90
33	2.03	0.87	1.76	0.80
34	1.07	0.64	1.21	0.75
35	2.06	0.79	1.85	0.74
36	1.90	0.57	1.29	0.59

3.3.1 阴向土质边坡 从表 2 中可以看出,在 1—7 号小区中,2 号小区物种的丰富程度最高,丰富度指数达到 2.61,而 1 号小区丰富度指数最小,为 0.78,其他小区丰富度程度较接近。分析植物多样性只考虑物种数和个体数量是不够的,还应该考虑物种聚集程度的差异和物种个体分布的均匀程度^[12]。Simp-

son 指数是对物种集中性的度量,而 Shannon—wiener 指数是对群落多样性的信息度量^[13]。在两个指数比较中,1 号小区分别为 0.02 和 0.07,和其他小区差异最大,是最低值。其余小区 Simpson 指数变化在 0.41~0.65,Shannon—wiener 指数变化在 0.83~1.32,差异不大。Pielou 均匀度指数把个体的均匀度纳入了度量范围,1 号和 2 号小区均匀程度最差,其余小区均匀度指数均在 0.51 以上,均匀程度较高。8 和 9 号为对照小区,没有任何护坡措施,属于植被的自然恢复,从多样性变化可以看出,对照小区的丰富度指数均在 2.20 以上,丰富程度较高,多样性指数也有很高的一致性。

结合表 1 分析可知,1 号和 2 号小区都选用单一植物护坡,分别为高羊茅和结缕草,所以均匀度较差。但 2 号小区物种丰富度最高,1 号小区最低,说明结缕草受当地侵入自然物种的影响较大,物种侵入坡面后能够与原有物种融为一体,并均匀分布于坡面群落,随着物种数目的增多,群落多样性增加,从多样性指数来看也证明了这一点。而高羊茅受当地侵入物种的影响较小,仍然在群落中处于优势地位。因此,在进行植物选择时,尽量选用稳定、不易受外来物种影响的植物种,才能保证植物群落的长期效果。

3.3.2 阳向土质边坡 10 号小区的物种丰富度指数最大,18 号小区物种丰富度指数最小。上述小区中 Simpson 指数变化的差异不大,而 Shannon—wiener 指数存在较大差异,10 号小区达到 2.01,远大于最低的 18 号小区(0.14)。前者对富集种相对多度较为敏感,而后者是对群落的稀疏种敏感的指数。均匀度指数的大小排序与 Simpson 指数和 Shannon—wiener 指数表现出很好的相关性。

究其原因,10 号小区设计植物种类最多,植物丰富度占优势,而其他小区设计植物种较少,植物丰富度较差。18 号小区的设计植物种数较其他小区相似,但多样性指数要小很多,这是因为 18 号小区物种间数量分布不均匀,均匀度指数的对比也证明了这一点。

22 号小区为对照小区,丰富度指数为 1.61,均匀度指数为 0.79,和同类小区相比,自然恢复的植物群落丰富程度较高,而且植物种的分布较均匀。

3.3.3 阳向石质边坡 对上述小区进行多样性分析可见,物种丰富度指数差异不太大,其中的 28,30,32,33,35 和 36 号小区较为接近,变化在 1.83~2.07,其余小区较为接近,变化在 0.99~1.21。因为前者的设计植物种类较后者多,物种丰富程度较高。各小区的 Simpson 指数变化在 0.31~0.87,差异不大。Shannon—wiener 指数差异明显,27 号小区为

0.45,远低于最大的 32 号小区(2.16)。结合表 1 可以看出,27 号小区沙打旺重要值远远大于其他物种,说明沙打旺在群落中处优势地位,在数量分布上较集中,而 32 号小区中各物种重要值相差不大,各物种间数量分布较均匀。

4 讨论与结论

重建坡面植被的主要难题是蓄水和保土,调查的坡面试验小区采用工程措施改善坡面条件,再结合植物措施,在灌溉条件下人为对裸露土石坡面进行植被恢复。通过对各小区植物群落重要值、物种多样性的分析和研究,可以判断不同措施的植被恢复效果,了解植物群落的适应性和稳定性,为坡面植被恢复提供指导。

(1) 通过对护坡措施小区和对照小区植被盖度的比较得出,采用护坡措施进行植被恢复的小区盖度较高,达到 50% 以上,而对照小区的盖度则低于 50%,说明护坡措施的应用对植被恢复起到了促进作用,为今后护坡措施的选择提供了参考。

(2) 通过对 36 个小区物种的重要值分析得出,对于土质边坡,植草+水平截流沟、植草+Y 字形截流沟、等高绿篱埂、三维金属网+植被袋、连锁砖+植物、废旧轮胎+植物、铅丝石笼、平铺石笼和码石栽植旱柳等护坡方式适应性较好,植物成活率较高;对于石质边坡,鑫三角工程生态袋、砖砌挡墙+植生袋、土工格栅+生态袋、钢筋笼生态袋等护坡方式适应性较好,设计植物成活、生长情况良好。

(3) 在 1,3,5,6,16,19,29 和 30 号共 8 个坡面小区的植物群落中,高羊茅的重要值均最大,其中的 1 和 16 号小区设计植物种为高羊茅,其余小区随着植物群落的发展,高羊茅也逐渐成为优势种,说明高羊茅在该地区的适应性较强,在人工重建植被时可以选择。

(4) 通过对 36 个小区物种多样性分析可知,选用单一植物护坡的小区,群落物种多样性出现两种趋势,其一是物种丰富度指数、多样性指数和均匀度指数均较低,说明原有物种受当地侵入种的影响较小,其在数量和分布上都具有优势,造成物种多样性较差,如 1 号和 19 号小区;其二是物种丰富度指数、多样性指数和均匀度指数均较高,说明原有物种受当地侵入物种的影响较大,物种侵入后与原有物种融为一体,随着物种数目的增多,群落多样性增加,原有物种逐渐退化,如 2,28 和 30 号小区。因此,在选用单一植物种进行护坡时要慎重,应选择不易退化的种类,才能长时间发挥植物的保水固土作用,进一步为植物

选择提供了依据。

(5) 在对照小区中,依靠植被的自然恢复能力,群落物种多样性较好,说明植被群落在自然条件下朝着丰富、均匀、稳定的方向发展。通过调查还发现,自然恢复的植被群落以草本为主,当地入侵物种主要有铁杆蒿、茵陈蒿、地黄、苦卖菜等,其中以铁杆蒿、茵陈蒿居多。

(6) 开发建设项目在进行边坡防护时,应该采用工程和植物措施相结合的方式,利用工程措施对坡面进行改良,改变坡面微地形、提高坡面蓄水保土功能,从而为植物的生长提供有利条件;在植物选择方面,应尽量选用乡土植物种,采取多种植物相结合的方式,发挥植被群落的最大功能。

致谢:感谢北京林业大学路端正老师在植被调查期间给予的指导,也感谢延庆县水土保持工作站给予的大力支持。

参考文献:

- [1] 王伯荪. 植被生态学:群落与生态系统[M]. 北京:高等教育出版社,1997:3-21.
- [2] 王鹏,张建军. 晋西黄土区封禁流域植被群落组成及物种多样性变化[J]. 生态环境学报,2009,18(1):242-248.
- [3] 李影,王友保,刘登义. 安徽铜陵狮子山铜尾矿场植被调查[J]. 应用生态学报,2003,14(11):1981-1984.
- [4] 朱晓勇,胡海波,鲁小珍,等. 太湖西区公路两侧植物物种多样性的研究[J]. 南京林业大学学报:自然科学版,2006,30(3):85-88.
- [5] 江源,陶岩,顾卫,等. 高速公路边坡植被恢复效果研究[J]. 公路交通科技,2007,24(7):147-152.
- [6] 崔建国,田佳,赵廷宁,等. 上辛庄开发建设项目水土保持试验示范基地植被调查[J]. 中国水土保持,2009(5):22-24.
- [7] 宋永昌. 植被生态学[M]. 上海:华东师范大学出版社,2001:45-51.
- [8] 林鹏. 植物群落学[M]. 上海:上海科学技术出版社,1986:68-80.
- [9] 赵志模,郭依泉. 群落生态学原理与方法[M]. 重庆:科学技术出版社重庆分社,1990:147-154.
- [10] 赵永泉,彭道黎. 北京鹫峰公园主要人工林群落多样性研究[J]. 西南林学院学报,2008,28(1):17-22.
- [11] 赵晓莅,齐代华. 生态恢复过程中水土保持林乔木层多样性研究[J]. 中南林业科技大学学报,2008,28(4):113-117.
- [12] 祝遵凌,王永安,陈桂奇,等. 宁淮高速公路带人工植被多样性评价与分析[J]. 南京林业大学学报:自然科学版,2007,31(4):103-106.
- [13] 张晓燕,王百田,魏天兴,等. 晋西黄土区侵蚀沟坡面植被群落特征研究[J]. 水土保持研究,2008,15(3):211-216.