

高寒沙地不同林龄乌柳林下植物物种多样性

刘海涛^{1,2}, 贾志清², 颜守保¹

(1. 淮南师范学院生物工程学院, 淮南 232038; 2. 中国林业科学研究院荒漠化研究所, 北京 100091)

摘要: 以共和盆地乌柳人工林为对象, 调查了不同发育阶段(4、11、25 和 37 年生)乌柳林下植物物种组成及物种多样性变化。结果表明, 菊科、藜科、豆科和禾本科为各阶段乌柳林下植被的优势科。4 个林龄乌柳林下植被重要值较大的物种不尽相同, 赖草在各林龄乌柳林下植被中均为优势种。演替各阶段多年生植物种数占绝对优势且基本保持稳定, 其单种重要值明显大于一年生植物。随着林龄的增加, 在流动、半流动沙地中出现的一年生植物逐渐消失, 小、半灌木开始出现在林下植被中。林下植被的地上生物量和盖度均表现为先增加、后降低、再增加的趋势。物种丰富度、物种多样性、均匀度、生态优势度指数均表现为逐渐增加的趋势。随演替进展, 林下植被群落结构趋于复杂、稳定, 物种多样性达到了较高的水平, 植被群落得到了较好的恢复。

关键词: 物种多样性; 林下植被; 乌柳; 林龄; 高寒沙地

中图分类号: S718.5

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2015)05-0761-08

Species diversity of understory plants of different age *Salix cheilophila* in alpine sandy land

LIU Haitao^{1,2}, JIA Zhiqing², YAN Shoubao

(1. Bioengineering Institute, Huainan Normal University, Huainan 232038;

2. Institute of Desertification Studies, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091)

Abstract: *Salix cheilophila* sand-fixing plantations at different development stages (4, 11, 25, and 37 years old) were used to study the understory plant species composition and species diversity in alpine sandy land of Gonghe basin. The results showed that compositae, chenopodiaceae, leguminosae and gramineae were dominant understory vegetation of the four stands. The import value species were different in the understory vegetation of four stand ages of *S. cheilophila*. *Leymus decalinus* was the dominant species in the understory vegetation of different stand ages of *S. cheilophila*. In all succession stages, the number of perennials occupied dominant status and almost remained stable. The important value of individual perennial species was significantly higher than that of annuals. With the increase of plantation age, some annual indicator species in drifting or semi-drifting sandy land gradually disappeared, and undershrub and subshrub began to appear in the understory vegetation. Both aboveground biomass and coverage of the understory vegetation presented an increasing-decreasing-increasing trend, simultaneously. The species richness, species diversity, evenness and ecological dominance indexes of the understory vegetation community increased gradually with the increasing age of the plantation. Community structure of the understory vegetation tended to be complex and stable and the species diversity reached a high level with the process of succession, suggesting that the understory vegetation community got better restoration.

Key words: species diversity; understory vegetation; *Salix cheilophila*; stand age; alpine sandy land

共和盆地位于青藏高原东北部, 是祁连山与昆仑山的过渡带, 在气候类型上属于高寒干旱荒漠与半干旱草原的过渡区域, 是青海荒漠化土地的典型代表, 也是高寒荒漠生态系统环境变化的敏感区。作为青藏高原土地沙化程度最严重的地区之一, 共

和盆地在高寒干旱半干旱土地沙化防治研究中具有重要的地位。沙珠玉地区位于共和盆地中西部, 是共和盆地荒漠化土地集中分布的区域之一。1958 年之前, 沙珠玉地区只有极少数野生灌木, 几乎没有乔木生长; 1958 年, 在沙珠玉乡建立了治沙示范实

验站。自建站以来,科研人员经过大量引种栽培试验,选育出一批适合在这一特殊生态环境条件下生长的乔灌木树种,摸索出了一套在青海高寒沙区综合治理、改良利用风沙土的科学措施,为高寒荒漠区的风沙治理提供了科学依据^[1-2]。

灌木是荒漠生态系统的优势生活型,对于干旱环境的适应性很强,常作为沙区植被恢复、水土保持、防风固沙的先锋树种,在维持荒漠生态系统生物多样性、稳定性以及生态系统服务功能方面发挥着重要的作用^[3]。乌柳(*Salix cheilophila*)作为一种耐寒抗旱的灌木或小乔木,引入共和盆地已有近40年的历史,现已成为共和盆地较理想的防护林带造林树种,表现出较强的适应性,对当地的流沙治理及生态环境恢复起到了重要的作用。目前,有关乌柳的研究主要集中在水分生理^[4]、氮素利用^[5]、自然群落特征^[6]、光合特性^[7]、防护林碳库^[8]等方面,有关不同林龄人工乌柳林林分结构特征和林下植被物种多样性的研究尚未见报道。物种多样性反映了生物群落在组成、结构、功能和动态方面的异质性,体现了群落结构类型、组织水平、发展阶段、稳定程度和生境差异,为生态系统功能运行和维持提供了种源基础和支撑条件,是认识生态系统结构和功能变化的基础^[9]。林龄反映着森林群落的抗逆性、完整性及演替进程等状况,林龄不同,其林下植被物种多样性也会有差异^[10]。林下植被由灌草层共同组成的,是林分的重要组成部分。林下灌草层对于水土保持、物质循环、维护群落物种多样性和生态稳定

性以及揭示植被演替等方面起着重要作用^[11]。因此,林下植被对林分结构的健康状况和发育程度具有重要的指导意义。本研究以高寒沙地不同发育阶段的乌柳人工林为研究对象,分析不同林龄乌柳林林分结构(密度、郁闭度、盖度和树高等)和林下植被物种组成、优势种、生活型结构、物种多样性和地上生物量等产生差异的原因,以期高寒干旱、半干旱荒漠化地区的乌柳人工林的植被建设、保护与经营提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于青海共和盆地沙珠玉乡治沙示范区内(N36°03'~36°40', E99°45'~100°30'),海拔2871~3870 m。该区为高原温带半干旱草原和干旱荒漠草原的过渡带,具有典型的高原大陆性气候特征,干旱、大风、寒冷是其主要的气候特点。1月平均气温-12.5℃,7月平均气温14.6℃,年均温2.4℃;年均降水量246.3 mm,且季节分配不均,干湿季明显,大气降水主要集中在5—9月,年均潜在蒸发量1716.7 mm,气候异常干燥;无霜期日数最长138 d,最短64 d,平均91 d,太阳总辐射6631.69 MJ·m⁻²·a⁻¹;全年平均大风日数(风速大于17 m·s⁻¹)为50.6 d,最多可达97 d,风向主要为西、西北风,平均风速2.7 m·s⁻¹,最大风速可达40 m·s⁻¹,下垫面主要由固定、半固定沙丘及流动沙丘组成^[2, 12]。

表1 不同林龄乌柳林样地基本情况

Table 1 General conditions in different aged *S. cheilophila* plantations

林龄/a Age	地理位置 Location	海拔/m Altitude	密度/株·hm ⁻² Density	郁闭度 Canopy density	树高/m Height	基径/cm Basal diameter	冠幅/m Crown	
							东西 E&W	南北 S&N
4	100°13'41.06"E, 36°15'3.50"N	2871	3467±376 ^a	0.32±0.02 ^c	2.47±0.04 ^c	3.51±0.20 ^b	1.82±0.37 ^b	1.88±0.03 ^b
11	100°13'58.72"E, 36°15'8.68"N	2893	1933±145 ^b	0.48±0.04 ^b	3.03±0.06 ^b	4.29±1.07 ^b	2.06±0.05 ^b	1.98±0.33 ^b
25	100°14'22.0"E, 36°14'41.25"N	2874	1867±120 ^b	0.68±0.04 ^a	3.30±0.12 ^b	7.67±0.92 ^a	3.82±0.28 ^a	3.39±0.22 ^a
37	100°15'1.91"E, 36°14'32.97"N	2872	800±100 ^c	0.42±0.04 ^{bc}	3.80±0.21 ^a	8.48±0.99 ^a	2.32±0.16 ^b	2.38±0.23 ^b

1.2 样地选择及林下植被调查

2011年8月上旬,在林龄为4、11、25和37 a的乌柳林样地中分别选择生境基本相同的10 m×10 m子样地各4块,乌柳林的造林方式均为插干造林,株行距为1 m×2 m,土壤质地为风沙土。用GPS仪对子样地进行定位,进行每木检尺,记录子样地中乌柳的地径、树高、密度和冠幅,测定林分的郁闭度(覆盖度)等。样地选择时充分考虑坡度、坡向、

海拔等生境因素,选取地形地貌基本一致的样地。样地的海拔差别较小,地形地貌较为平坦(坡度<5°),故可认为各样地中林下植被群落的差异是由林龄的不同而造成的。各样地的详细情况见表1。在各林龄乌柳的子样地中随机设置4个1 m×1 m的记名样方,进行样方调查和地上生物量取样。样方调查主要记录植物种类、盖度、高度、密度等指标。准确鉴定植物标本,统计科、属、种。地上生物量

取样时齐地面刈割, 80℃烘干后称重。

1.3 数据分析

重要值(IV)的计算方法为^[13-15]: 重要值(IV) = (相对高度+相对盖度+相对密度)/3

相对高度 = (样方内种 i 的高度/样方内所有种的高度) × 100

相对盖度 = (样方内种 i 的盖度/样方内所有种的盖度和) × 100

相对密度 = (样方内种 i 的密度/样方内所有种的密度和) × 100

i 物种在子样方中的平均重要值为 i 物种在该子样方中所有记名样方内的重要值之算术平均值。

采用丰富度指数(Patrick 指数)、物种多样性指数(Shannon-Wiener 指数)、均匀度指数(Pielou 均匀度指数)以及生态优势度指数(Simpson 生态优势度指数)测定物种 α 多样性^[16-17], 计算公式如下:

Patrick 指数: $R=S$

S 代表每一个样方中的物种总数。

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

P_i 为第 i 个种的相对重要值($P_i=N_i/N$), N_i 为第 i 个物

种的绝对重要值, N 为种 i 所在样方得各个种的重要值之和。

Pielou 均匀度指数: $J_{sw}=E=H'/\ln S$

Simpson 生态优势度指数: $D=1-\sum_{i=1}^S P_i^2$

群落物种 β 多样性采用 Sorensen 相似性指数计算^[17-18]。

Sorensen 指数: $C=Z_j/(a+b)$

式中, Z_j 为 2 个群落的共有种在各个群落中重要值的总和; a 为样地 A 的所有物种重要值的总和, b 为样地 B 的所有物种重要值的总和)

采用 SPSS 16.0 统计分析软件进行数据处理与分析, 单因素方差分析(one-way ANOVA)和 Duncan 法比较不同林龄乌柳林林下植被群落物种多样性参数等指标间的差异, 显著性水平设定为 $\alpha=0.05$, 极显著性水平设定为 $\alpha=0.01$ 。Excel 2007 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 不同林龄乌柳林林下物种科属组成分析

在本次调查的 64 个草本样方中, 共计出现植物 9 科 19 属 20 种, 其中包括菊科 5 属 6 种, 占调查

表 2 不同林龄乌柳林林下物种组成

Table 2 Genera and families composition of understory species in different aged *S. cheilophila* plantations

科名 Family name	4 年 4a			11 年 11a		
	属数 Genus number	种数 Species number	重要值 Important value	属数 Genus number	种数 Species number	重要值 Important value
禾本科 Gramineae	1(10.0)	1(10.0)	73.97	2(20.0)	2(20.0)	49.04
菊科 Compositae	3(30.0)	3(30.0)	3.99	2(20.0)	2(20.0)	6.17
豆科 Leguminosae	1(10.0)	1(10.0)	1.73	2(20.0)	2(20.0)	14.76
莎草科 Cyperaceae	1(10.0)	1(10.0)	11.67	1(10.0)	1(10.0)	13.37
蔷薇科 Rosaceae	0(0)	0(0)		1(10.0)	1(10.0)	8.80
藜科 Chenopodiaceae	3(30.0)	3(30.0)	1.81	0(0)	0(0)	
胡颓子科 Elaeagnaceae	0(0)	0(0)		0(0)	0(0)	
十字花科 Cruciferae	0(0)	0(0)		1(10.0)	1(10.0)	4.77
蓼科 Polygonaceae	1(10.0)	1(10.0)	6.84	1(10.0)	1(10.0)	3.08
总计 Total	10	10	100	10	10	100

科名 Family name	25 年 25a			37 年 37a		
	属数 Genus number	种数 Species number	重要值 Important value	属数 Genus number	种数 Species number	重要值 Important value
禾本科 Gramineae	1(11.1)	1(11.1)	42.71	2(14.3)	2(13.3)	55.52
菊科 Compositae	4(44.4)	4(44.4)	39.45	3(21.4)	4(26.7)	23.39
豆科 Leguminosae	2(22.2)	2(22.2)	15.99	2(14.3)	2(13.3)	15.50
莎草科 Cyperaceae	1(11.1)	1(11.1)	1.64	1(7.1)	1(6.7)	1.94
蔷薇科 Rosaceae	0(0)	0(0)		1(7.1)	1(6.7)	0.21
藜科 Chenopodiaceae	1(11.1)	1(11.1)	0.25	3(21.4)	3(20.0)	2.73
胡颓子科 Elaeagnaceae	0(0)	0(0)		1(7.1)	1(6.7)	0.58
十字花科 Cruciferae	0(0)	0(0)		1(7.1)	1(6.7)	0.16
蓼科 Polygonaceae	0(0)	0(0)		0(0)	0(0)	
总计 Total	9	9	100	14	15	100

物种总数 30%; 藜科植物次之, 共 4 属 4 种, 占 25%; 豆科植物 3 属 3 种, 占 15%; 禾本科植物 2 属 2 种, 占 10%; 此外依次有莎草科、蓼科、蔷薇科、十字花科、胡颓子科各 1 属 1 种。

各样地物种科、属组成如表 2 所示。4 年生乌柳林下植物种数为 10 种, 隶属于 6 科 10 属, 优势科为菊科和藜科, 占总物种数的 60.0%; 11 年生乌

柳林下植物种数为 10 种, 隶属于 7 科 10 属, 优势科为禾本科、菊科和豆科, 占总物种数的 60.0%; 25 年生乌柳林下植物种数为 9 种, 隶属于 5 科 9 属, 优势科为菊科和豆科, 占总物种数的 66.7%; 37 年生乌柳林下植物种数为 15 种, 隶属于 8 科 14 属, 优势科为菊科、藜科、禾本科和豆科, 占总物种数的 73.3%。

表 3 不同林龄乌柳林林下物种重要值

Table 3 Important value of understory species in different aged *S. cheilophila* plantations

物种 Species	生活型 Life form	重要值 Important value				
		CT	4 年	11 年	25 年	37 年
赖草(禾本科-赖草属) <i>Lelmus selalinus</i>	多年生草本(中旱)	23.11	73.97	47.25	42.71	27.54
冷地早熟禾(禾本科-早熟禾属) <i>Poa crymophila</i>	多年生草本(旱)	0.39		1.79		27.98
垂穗披碱草(禾本科-披碱草属) <i>Elymus nutans</i> Griseb.	多年生草本(旱)	0.07				
狗尾草(禾本科-狗尾草属) <i>Setaria viridis</i>	一年生草本(中旱)	0.04				
白草(禾本科-狼尾草属) <i>Penisetum centrasiaticum</i>	多年生草本(中)	21.33				
蒲公英(菊科-蒲公英属) <i>Taraxacum mongolicum</i>	多年生草本(中)		0.39	0.39	0.19	0.34
阿尔泰狗娃花(菊科-狗娃花属) <i>Heteropappus altaicus</i>	多年生草本(中旱)		0.18		6.20	9.57
小蓟(菊科-蓟属) <i>Cirsium setosum</i>	多年生草本(中)		3.42			
油蒿(菊科-蒿属) <i>Artemisia ordosica</i>	半灌木(旱)	31.57		5.78		5.49
紫菀(菊科-紫菀属) <i>Aster tataricus</i>	多年生草本(旱)	2.19			0.44	
冷蒿(菊科-蒿属) <i>Artemisia frigida</i>	小半灌木(旱)	3.74			32.62	7.99
虫实(藜科-虫实属) <i>Corispermum heptapotamicum</i>	一年生草本(旱)	0.02				
青海猪毛菜(藜科-猪毛菜属) <i>Salsola chinghaiensis</i>	一年生草本(旱)		1.07			0.10
沙米(藜科-沙蓬属) <i>Agriophyllum pungens</i>	一年生草本(中旱)		0.11			2.20
碱蓬(藜科-碱蓬属) <i>Herba suaedae Glaucac Suaeada glauca</i>	一年生草本(旱)	0.28	0.63			0.43
灰绿藜(藜科-藜属) <i>Chenopodium glaucum</i>	一年生草本(旱)				0.25	
骆驼蓬(蒺藜科-骆驼蓬属) <i>Peganum multisectum</i>	多年生草本(旱)	0.04				
披针叶黄华(豆科-黄华属) <i>Thermopsis lanceolata</i>	多年生草本(中)	0.65	1.73		2.22	3.66
多枝黄芪(豆科-黄芪属) <i>Astragalus polycladus</i>	多年生草本(旱)	0.61		3.65	13.77	11.84
镰形棘豆(豆科-棘豆属) <i>Oxytropis falcate</i> Bunge	多年生草本(旱)			11.11		
青藏苔草(莎草科-苔草属) <i>Carex moorcroftii</i>	多年生草本(湿中)	12.87	11.67	13.37	1.64	1.94
西伯利亚蓼(蓼科-蓼属) <i>Polygonum sibiricum</i>	多年生草本(中)		6.84	3.08		
二裂委陵菜(蔷薇科-委陵菜属) <i>Potentilla bifurca</i>	多年生草本(中旱)	0.71		8.80		0.21
独行菜(十字花科-独行菜属) <i>Lepidium apetalum</i>	一或二年生草本(中旱)			4.77		0.16
卵盘鹤虱(紫草科-天名精属) <i>Lappula redowskii</i>	一年生草本(中旱)	0.02				
田旋花(旋花科-旋花属) <i>Convolvulus arvensis</i>	多年生草本(中)	2.36				
西藏沙棘(胡颓子科-沙棘属) <i>Hippophae thibetana</i>	小灌木(中, 中旱)					0.58

注: CT 代表川青锦鸡儿 (*Caragana tibetica*) 植物群落。下同。

Note: CT stands for the communities of *Caragana tibetica*. The same below.

2.2 不同林龄乌柳林林下物种重要值分析

从表 3 可以看出, 当地荒漠草原典型野生优势灌木种川青锦鸡儿 (*Caragana tibetica*) 植物群落样地中重要值最大的物种为油蒿, 亚优势种明显且多样; 4、11 和 25 年生乌柳林下植物群落重要值最大的物种都为赖草, 3 个林龄乌柳林下植被群落均为

单优势种群落; 37 年生乌柳林下植物群落重要值最大的物种为冷地早熟禾, 林下植物群落为冷地早熟禾和赖草的共优势种群落。川青锦鸡儿林下植物群落物种重要值大于 3 的有 5 个; 4、11、25 和 37 年生乌柳林下植物群落物种重要值大于 3 的分别有 4、8、4 和 7 个。

表 4 不同林龄乌柳林林下物种生活型结构

Table 4 Life form composition of understory species in different aged *S. cheilophila* plantations

演替时间/a Succession time	一或二年生草本 Annual or biennial herbaceous plants			多年生草本 Perennial herbaceous plants			灌木 Shrub		
	种数 Species	比例/% Proportion	重要值 Important value	种数 Species	比例/% Proportion	重要值 Important value	种数 Species	比例/% Proportion	重要值 Important value
4	3	30.0	1.81	7	70.0	98.20			
11	1	10.0	4.77	8	80.0	89.44	1	10.0	5.78
25	1	11.1	0.25	7	77.8	67.17	1	11.1	32.62
37	4	26.7	2.89	8	53.3	83.08	3	20.0	14.06

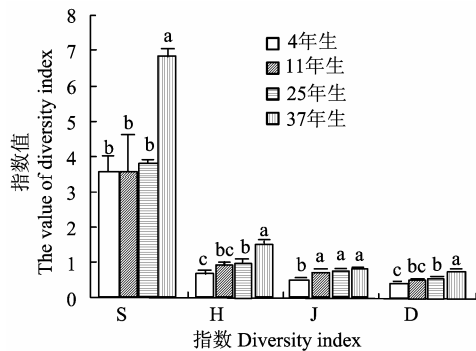


图 1 不同林龄乌柳样地林下植物多样性指数

Figure 1 Species diversity of understory vegetation in different aged *S. cheilophila* plantations

表 5 不同林龄乌柳林林下植被群落相似性系数

Table 5 The similarity of understory vegetation communities in different aged *S. cheilophila* plantations

演替时间/a Succession time	11	25	37	CT
4	0.7848	0.7045	0.6777	0.6246
11		0.6149	0.8065	0.7386
25			0.8112	0.6829
37				0.8051

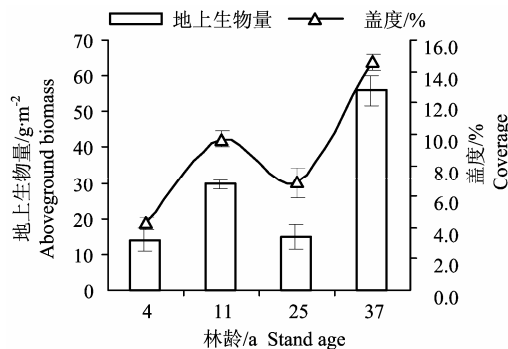


图 2 不同林龄乌柳林样地林下样方地上生物量和盖度

Figure 2 The biomass and coverage of understory quadrats in different aged *S. cheilophila* plantations

2.3 不同林龄乌柳林林下物种生活型结构分析

从林下物种生活型组成结构分析(表 4), 各林龄

乌柳林下植物群落物种组成中多年生草本植物占绝对优势且基本保持稳定, 多年生植物的单种重要值明显大于一年生植物。随着演替的进行, 生活型组成趋于多样化, 小、半灌木开始出现在林下植物群落中, 其种类及所占的比例也逐渐增加。

2.4 不同林龄乌柳林林下物种多样性分析

从图 1 可以看出, 各林龄乌柳林下植物群落多样性指数、均匀度指数以及优势度指数均产生了显著地差异。其中, 物种丰富度指数(S 指数)在 4、11 和 25 年生乌柳林下植物群落间差异不显著($P > 0.05$), 但总体上仍表现出增加的趋势; 37 年生乌柳林下植物群落物种丰富度指数(S 指数)显著高于其他 3 个林龄的乌柳($P < 0.05$)。与物种丰富度指数相比, 各林龄乌柳林下植物群落 Shannon-Wiener 指数变化更加敏感。其中, 37 年生乌柳林下植物群落 Shannon-Wiener 指数显著高于其他 3 个林龄的乌柳($P < 0.05$), 25 年生乌柳林下植物群落的 Shannon-Wiener 指数显著高于 4 年生乌柳($P < 0.05$)。4 年生乌柳林下植物群落均匀度指数(Pielou 指数)显著低于其他 3 个林龄乌柳($P < 0.05$), 表明此阶段林下植物群落中的优势种对群落结构和功能起着决定性的作用; 11、25 和 37 年生乌柳林下植物群落 Pielou 指数无显著差异($P > 0.05$), 但随着林龄的增加, 各群落样地 Pielou 指数呈现不断增加的趋势, 表明群落植物组成向着物种均匀化的方向发展。各阶段乌柳林下植物群落 Simpson 指数变化趋势与 Shannon-Wiener 指数基本一致, 均表现为随林龄的增加而增加, 表明优势种的地位和作用不断下降, 集中性不断降低, 植物群落的组成和结构更加稳定。其中, 37 年生乌柳林下植物群落 Simpson 指数显著高于其他 3 个林龄乌柳($P < 0.05$), 25 年生乌柳林下植物群落 Simpson 指数显著高于 4 年生乌柳($P < 0.05$)。

2.5 不同林龄乌柳林林下植被群落相似性分析

群落相似性系数的计算结果表明(表 5), 4 年生乌柳林下植物群落和 11、25 和 37 年生乌柳林下植

物群落的相似性系数分别为 0.7848、0.7045 和 0.6777, 群落之间的相似性系数逐渐变小, 随着演替的进行, 不同恢复年限乌柳林下植物物种组成差异越来越大, 群落之间的生态距离变远。11 和 25 年生乌柳林下植物群落相似性系数为 0.6149, 明显小于 11 和 37 年生乌柳林下植物群落相似性系数 0.8065, 说明相比 25 年生乌柳林下的环境条件, 11 与 37 年生乌柳林下的环境条件应更为相似、共有种更多。25 和 37 年生乌柳林下植物群落相似性系数为 0.8112, 相似性系数达到最大, 说明 25 和 37 年生乌柳林下环境条件虽有一定程度的差异, 但两群落间共有种的地位和作用明显。随演替进展, 林下植物群落与当地荒漠草原典型野生优势灌木种川青锦鸡儿(*C. tibetica*) 群落样地的相似性系数基本上呈增加的趋势, 表明其群落物种组成与地带性灌木树种样地中的植被物种组成与结构逐渐接近。

2.6 不同林龄乌柳林林下植被地上生物量和盖度变化分析

4 个林龄(林龄从小到大)乌柳林下样方中的地上生物量分别为 14.01、29.62、14.89 和 56.02 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$, 林下植被群落的盖度分别为 4.28%、9.66%、6.89% 和 14.59%。各样地中地上生物量和盖度具有显著地差异($P<0.05$)(图 2), 其中, 37 年生乌柳林下植物群落生物量和盖度值显著的高于其他 3 个林龄乌柳($P<0.05$), 11 年生乌柳林下植物群落生物量和盖度值显著的高于 4 和 25 年生乌柳($P<0.05$), 25 年生乌柳林下植物群落盖度值显著的高于 4 年生乌柳($P<0.05$)。

3 讨论与结论

3.1 乌柳林生长发育对林下物种科属组成、重要值和生活型的影响

物种多样性的恢复与群落环境的改善密切相关, 群落环境的改善是物种多样性恢复的基础^[9, 19]。不同林龄乌柳林下植被物种科属组成与群落演替的动态变化格局反映了乌柳林下植被恢复过程中群落环境的变化和物种多样性对这种变化的响应过程。乌柳林下植被恢复过程中, 不同阶段群落的物种组成不断发生变化, 科、属组成表现出一定的规律, 不同科、属的植物种类及其在群落中的作用随乌柳林龄的变化有所不同。本研究中, 菊科、藜科、豆科和禾本科为不同林龄乌柳林下植被组成的优势科, 这与整个共和盆地的植物区系物种组成的特征是一致的^[20]。

重要值是以综合数值来反映不同植物种在群落

中的地位和作用, 其大小是确定优势种和建群种的重要依据^[13-15]。随着演替的进行, 不同物种的重要值在各样地群落中有所波动, 总体上不同演替阶段乌柳林下植被的优势种(重要值较大的物种)明显。但不同林龄乌柳林下植物群落优势种不尽相同, 说明不同林龄乌柳林不同的生长状况对林下植被的生长造成了显著的影响, 各林龄乌柳林样地间存在着生境差异, 因而适合不同种类的植物生长。有研究表明, 各个物种在群落或生态系统中的作用并非等同的, 少数优势种在群落生态功能的维持上起着主要作用, 林下次要种的存在具有填补空白斑块的作用, 使群落对环境和资源利用尽可能达到最大^[21-22]。本研究中赖草在各个恢复阶段中均以建群种或优势种出现, 表明其在当地特殊的环境条件下适应性较强, 具有较广的生态幅。这与杨洪晓等^[23]在沙珠玉地区调查得出“赖草在共和盆地高寒沙区植被恢复演替中具有相当重要的位置, 很可能是某一演替阶段上的建群种”的结论是相一致的。同时, 随着林龄的增加, 赖草的重要值不断降低, 亚优势种及伴生种的重要值不断升高。这与孟祥楠等^[24]在嫩江沙地樟子松人工林的研究结果相似。当乌柳林龄达到 25 和 37 年时, 林下植被中出现了冷蒿, 特别是在 25 年生乌柳林下其重要值达到了 36.62, 成为仅次于赖草种群的次优势种, 这与李衍青等^[25]在科尔沁沙地的研究结果“冷蒿主要是在沙丘固定后的群落演替后期出现”的结论也是相一致的。37 年生乌柳林下群落植被中重要值最大的植物种是冷地早熟禾, 为 27.98, 此时赖草的重要值降至最低, 但仍达到 27.54, 与冷地早熟禾的重要值相差无几, 林下植物群落成为冷地早熟禾和赖草两物种组成的共优种群落。

丘间地栽种上乌柳林后, 随着演替进展, 一些在流动、半流动沙地中占据优势地位的一年生指示种(沙米、猪毛菜、碱蓬等)逐渐从群落中消失, 多年生植物种数稳定增加。这与多数学者的研究结果一致^[22, 24, 26]。演替各阶段多年生植物的单种重要值明显大于一年生植物, 表明多年生植物具有更强的抵抗环境扰动和保持种群稳定的能力, 对群落生态功能的维持起重要作用, 在群落环境演变和植物演替中居主导地位。随着演替的进行, 小半灌木开始出现在林下植被群落中, 所占比例也不断增加。物种生活型组成上的这种变化表明林下植被群落得到了较好的恢复, 群落结构趋于稳定, 生态系统功能也逐渐增强。

3.2 乌柳林生长发育对林下植物群落物种多样性和生产力的影响

在立地条件基本一致的情况下, 4 个林龄乌柳林的林分状况及林下物种多样性不尽相同: 随着林龄的增加, 乌柳林的密度表现出不断降低的趋势, 郁闭度和冠幅表现出先增高后降低的趋势, 而树高和基径则表现出不断增加的趋势。这说明随着乌柳林龄的增加, 其生长发育经历了由增长到稳定以至衰退的过程。但从不同阶段乌柳林分看, 所有林分都没有充分郁闭, 究竟是乌柳种内竞争还是乌柳树种自身的寿命等生物学特性原因导致林分林龄增加到一定时出现衰退, 有待进一步研究。上层林分的这种动态变化过程无疑会对林下植被的物种组成及群落物种多样性变化产生影响^[11]。当林龄为 4 年时, 乌柳处于生长发育初期, 其郁闭度较低, 林下植被有着广阔的生存空间和充足的光温条件。但此阶段影响林下植物生长发育的另一个重要生态因子, 即土壤基质的稳定性较差, 且养分条件也十分贫乏, 不利于林下植物繁殖体的传播和定居。因此, 此阶段乌柳林下物种的多样性水平最低, 群落的生物量和盖度也处于较低的水平。当林龄为 11 和 25 年时, 乌柳处于生长发育中期, 由于演替前期植物的发育, 此阶段的土壤基质的稳定性有所提高, 前期植物演替产生的枯枝落叶及根系脱落、腐烂、分解后, 促进了土壤养分含量的不断增加, 但此阶段上层乌柳林却不断壮大, 种内的竞争愈发激烈, 林分郁闭度不断增高, 对林下植被的光温条件造成了较大的影响, 不利于林下植被的发育。因此, 此阶段林下物种多样性增加缓慢, 群落的生物量和盖度也由于上层林木郁闭度和冠幅的改变表现出先增加后降低的趋势。这与何亿玲等^[27]研究认为上层林木对林下植物的作用机制实质上是通过控制光照为主的环境因子的变化来影响林下植物的发育的结论是一致的。由于演替前期林下群落建立后群落-环境相互作用下群落环境的改善及环境基质稳定性增加为更多物种的生存与繁衍提供了可能, 从而为适合下一演替阶段的物种侵入提供了必要条件。当林龄为 37 年生时, 乌柳处于生长发育后期, 上层乌柳林由于其自身的生理衰退及物种之间的竞争作用, 冠幅和郁闭度显著降低, 林下植被有着广阔的生存空间和充足的光温条件, 同时, 前期物种的演替发育极大的改善了林下的环境条件, 为物种多样性的增加提供了必要充足的条件。因此, 此阶段林下物种多样性水平最高, 群落的生物量和盖度也达到了最大值。有研究表明, 物种多样性对生态系统生产力存在着正

效应, 生态系统生产力随着物种数的增加而增加, 这是由于生态位的互补效应所致, 增加了植物对资源的利用效率^[26, 28-29]。本研究中, 37 年生乌柳林下植被物种数达到了最大值, 物种多样性水平处于最高值, 其地上生物量也最大, 进一步证实了生物多样性对生态系统生产力的促进作用。

本研究结果基本反映了高寒沙地环境条件下乌柳人工林生长发育过程中林下植物群落物种多样性变化和植被演替的动态过程。在近 40 年的时间内沙地环境实现了从流动状态到固定状态的转变。同时, 随演替进行, 林下植物群落的环境发生了显著变化, 群落的组成和结构趋于复杂和稳定, 物种丰富度和均匀度达到了一个较高的水平, 生态系统功能也逐渐增强。物种多样性的这种较快的恢复进程为人工治理高寒、干旱、多风的流动沙地提供了成功的范例和验证。但是, 应该指出的是在演替中前期乌柳林林下物种多样性恢复进程相对较慢, 林下植被的初级生产力和盖度也处于较低水平。此阶段有必要对上层的乌柳林进行一次抚育择伐以使林分密度达到最佳状态。因为适宜的林分密度不仅更有利于林分本身的生长发育, 也为林下植物创造了良好的光、温、水和湿等环境条件, 进而为整个林分的多样性、稳定性持续提供保障。在乌柳林植物群落演替发育后期, 上层乌柳林基本已处于衰退阶段, 此阶段应考虑对其进行平茬更新, 以提高林分的稳定性和生态功能。

参考文献:

- [1] 谭振忠, 李婷. 青海省共和县沙珠玉沙漠化动态及防治成效[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(16): 9778-9779.
- [2] 张永秀. 青海共和盆地高寒流动沙丘快速治理技术[J]. 青海大学学报: 自然科学版, 2009, 27(4): 56-59.
- [3] 李清河, 江泽平, 张景波, 等. 灌木的生态特性与生态效能的研究与进展[J]. 干旱区资源与环境, 2006, 20(2): 159-164.
- [4] 刘海涛, 贾志清, 朱雅娟, 等. 高寒沙地不同林龄乌柳林的水分生理及叶性状[J]. 应用生态学报, 2012, 23(9): 2370-2376.
- [5] Yuan Z Y, Li L H. Soil water status influences plant nitrogen use: a case study[J]. Plant and Soil, 2007, 301(1/2): 303-313.
- [6] 朱雪林, 黄清麟, 张超, 等. 西藏乌柳群落特征[J]. 山地学报, 2011, 29(1): 116-122.
- [7] 刘海涛, 贾志清, 朱雅娟, 等. 林龄对高寒沙地乌柳光合特性的影响[J]. 东北林业大学学报, 2012, 40(12): 20-26.
- [8] 于洋, 贾志清, 朱雅娟, 等. 高寒沙地乌柳防护林碳库

- 随林龄的变化[J]. 生态学报, 2015, 35(6): 1-13.
- [9] Tilman D, Wendin D, Konops J. Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystem[J]. *Nature*, 1996, 379: 718-720.
- [10] 刘彤, 胡丹, 魏晓雪, 等. 红松人工林林下植物物种多样性分析[J]. 东北林业大学学报, 2010, 38(5): 51-53.
- [11] Roberts M R. Response of the herbaceous layer to disturbance in North American forests[J]. *Canadian Journal of Botany*, 2004, 82: 1273-1283.
- [12] 李锋, 孙司衡. 景观生态学在荒漠化监测与评价中应用的初步研究—以青海沙珠玉地区为例[J]. 生态学报, 2001, 21(3): 481-485.
- [13] 张金屯. 数量生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 221-235.
- [14] 张晶晶, 赵忠, 宋西德, 等. 渭北黄土高原人工刺槐林植物多样性动态[J]. 西北植物学报, 2010, 30(12): 2490-2496.
- [15] 孙荣, 袁兴中, 刘红, 等. 三峡水库消落带植物群落组成及物种多样性[J]. 生态学杂志, 2011, 30(2): 208-214.
- [16] 马克平, 黄建辉, 于顺利, 等. 北京东灵山地区植物群落多样性的研究-II 丰富度、均匀度和物种多样性指数[J]. 生态学报, 1995, 15(3): 268-277.
- [17] 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.
- [18] 马克平, 刘灿然, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法 II - β 多样性的测度方法[J]. 生物多样性, 1995, 3(1): 38-43.
- [19] Wang D, Wu G L, Chang X F, et al. High species diversity occurs in more fertile habitats with fertilizer disturbance in an alpine natural grassland community[J]. *Journal of Mountain Science*, 2014, 11(3): 755-761.
- [20] 吴玉虎. 青海茶卡—共和盆地及其毗邻地区种子植物区系[J]. 云南植物研究, 2007, 29(3): 265-276.
- [21] Peter C. Mechanisms of maintenance of species diversity[J]. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 2000, 31: 343-358.
- [22] 张继义, 赵哈林, 张铜会, 等. 科尔沁沙地植被恢复系列上群落演替与物种多样性的恢复动态[J]. 植物生态学报, 2004, 28(1): 86-92.
- [23] 杨洪晓, 卢琦, 吴波, 等. 高寒沙区植被人工修复与种子植物物种多样性的变化[J]. 林业科学, 2004, 40(5): 45-49.
- [24] 孟祥楠, 赵雨森, 郑磊, 等. 嫩江沙地不同年龄樟子松人工林种群结构与林下物种多样性动态[J]. 应用生态学报, 2012, 23(9): 2332-2338.
- [25] 李衍青, 孙英杰, 张铜会, 等. 科尔沁沙地不同演替阶段油蒿群落的结构特征[J]. 应用生态学报, 2011, 22(7): 1725-1730.
- [26] 马建军, 姚虹, 冯朝阳, 等. 内蒙古典型草原区 3 种不同草地利用模式下植物功能群及其多样性的变化[J]. 植物生态学报, 2012, 36(1): 1-9.
- [27] 何忆玲, 傅懋毅. 人工林林下植被的研究现状[J]. 林业科学研究, 2002, 15(6): 727-733.
- [28] Tilman D, Reich P B, Knops J, et al. Diversity and productivity in a long-term grassland experiment[J]. *Science*, 2001, 294: 843-845.
- [29] 江小雷, 岳静, 张卫国, 等. 生物多样性, 生态系统功能与时空尺度[J]. 草业学报, 2010, 19(1): 219-225.