

祁连山青海云杉人工林与天然林群落结构特征及
物种多样性比较研究

何芳兰^{1,2,3},徐先英²,尉秋实²,刘虎俊²,贺访印²,马俊梅²,金红喜^{2*}

(1. 甘肃河西走廊森林生态系统国家定位观测研究站,甘肃 武威 733000;2. 甘肃省治沙研究所,甘肃 兰州 730070;
3. 兰州大学 草地农业科技学院,甘肃 兰州 730020)

摘 要:采用时空互代方法,以祁连山青海云杉人工林(70 年代、2002 年)、天然林为研究对象,分析人工林不同发育阶段群落结构特征和物种多样性变化及其与天然林之间的异同性。结果表明:其群落物种组成、生活型谱、物种多样性及乔木层林木径级分布均存在较大差异。1)70 年代人工林出现了 35 个种(分属于 19 个科 32 属),2002 年人工林出现 27 个种(分属于 14 科 24 属),天然云杉林样方内出现了 40 个种植物(分属于 19 科 35 属);3 种林地面芽植物种数均最多,其百分比值均在 50% 以上。2)3 种林乔木层均为青海云杉;在灌木层中,2002 年人工云杉林中尚未出现任何灌木,天然林和 70 年代人工林中有多种灌木出现,且天然林所有多样性指数值均大于 70 年代人工林,尤其是物种数、丰富度指数及均匀度 J_{sw} 指数分别是 70 年代人工林的 2.17、2.07 倍和 3.06 倍;在草本层中,3 种林除丰富度指数和均匀度指数 J_{sw} 差异显著($P<0.05$)外,其余指数两两之间差异不显著。3)天然云杉林乔木层林木胸径主要分布在 10~20 cm 之间,树高主要分布在 10~30 m 之间,其林木株数在不同径级、不同高度分布均趋向于对称性概率分布;70 年代和 2002 年云杉人工林乔木层林木地径分布在 6.0~8.2 cm 和 2.3~3.2 cm 之间,树高分布在 3.0~3.7 m 和 1.0~1.5 m 之间。这说明祁连山青海云杉林发育过程中,乔木层植被组成稳定、个体生长缓慢,而灌木层和草本层植被组成随人工林造林时间延长出现阶段性变化。

关键词:祁连山;青海云杉;人工林;物种多样性

中图分类号:S718.55 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2016)05-0001-07

A Study on the Comparison of Community Structural Characteristics and Species Diversity
Between Plantations and Natural Forests of *Picea Crassifolia* in Qilian Mountains

HE Fang-lan^{1,2,3}, XU Xian-ying², YU Qiu-shi², LIU Hu-jun², HE Fang-yin², MA Jun-mei, JIN Hong-xi^{2*}

(1. Gansu Hexi Corridor Forest Ecosystem National Research Station, Wuwei, Gansu 733000, China;
2. Gansu Desert Control Research Institute, Lanzhou, Gansu 730070, China;
3. College of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou, Gansu 730020, China)

Abstract: To understand the vegetation dynamic changes of the plantations of *Picea crassifolia* in Qilian Mountains and its similarities and differences with natural forests, an investigation on vegetations of 48 quadrates of 16 sample plots from plantations (planted during 1970s and 2002, respectively) and natural forests of *P. crassifolia* was conducted during July to August, 2013 by using the method of space series replacing time series. Significant similarities and differences were observed in the composition of community species, life form spectrum, species diversity, and the distribution of diameter class in arborous layer among

收稿日期:2015-11-20 修回日期:2016-01-06
基金项目:国家科技支撑计划项目(2012BAC08B02);甘肃省林业厅天保科技支撑项目(TBKJ1401);甘肃省自然科学基金计划项目(1308RJYA081、1308RJZA267)。
作者简介:何芳兰,女,副研究员,在读博士,研究方向:荒漠植物生理生态及植被恢复与演替。E-mail:hefanglan2003@126.com
*通信作者:金红喜,男,副研究员,博士,研究方向:植物物种多样性及其生产力。E-mail:jinhxcha@163.com

3 types of forests above mentioned. 1) Thirty five plant species belonging to 32 genera and 19 families were found in the plantations planted during 1970s, while 27 belonging to 24 genera of 14 families were observed in those planted in 2002, and 40 belonging to 35 genera of 19 families were found in natural forests. The number of hemicryptophyte was the largest (over 50% of the total plant species) in three forests. 2) Only *P. crassifolia* was in arborous layers in three forests. In shrub layer, no plant species was observed in the plantation built in 2002, and many plant species existed in shrub layers of natural forest and plantation built in 1970s. All of the diversity indices of natural forest were bigger than those of 1970s plantation, especially, the number of species and indices of richness and J_{sw} of the natural forest were 2.17, 2.07 and 3.06 times more than those of 1970s plantation. All of the diversity indices of had no significant difference except for richness and J_{sw} . 3) The values of diameter at breast height (*DBH*) of the trees growing in arborous layer of natural forest mainly distributed between 10 to 20 cm, and theirs heights mostly distributed between 10 to 30 m. Both distributions of the percentages of these plants in different classes of *DBH* and height tended to be symmetrical probability. The ground diameter values of trees planting in 1970s and 2002 distributed between 6.0—8.2 cm and 2.3—3.2 cm, and their heights distributed between 3.0 to 3.7 m and 1.0 to 1.5 m. The above results indicated that *P. crassifolia* forests distributing in Qilian Mountains exhibited the following characteristics during the course of development: the vegetation composition and individual development of arborous layer was stable and tardy, and the vegetation compositions of shrub and herb layers were change periodically.

Key words: Qilian Mountains; *Picea crassifolia*; plantation; species diversity

祁连山水源涵养林分布在祁连山系北麓中、东部的高中山地,是中国西北干旱半干旱区典型的山地森林,主要林型有干性灌丛林、青海云杉林、祁连圆柏林、湿性灌丛林,青海云杉林是祁连山水源涵养林演替的主体顶级群落^[1]。近年来,因受气候变化和人为干扰双重影响,该区域森林退化面积逐渐增大,水源涵养林能力不断下降,同时引起了政府及诸多研究学者的注意,并开展了大量科研与实践工作,同时也取得了一定成果^[2-12]。但是,目前并未见有关该区域退化林地及皆伐林地人工云杉林重建后,建植树种生长动态变化以及整个林地植被自然演替规律方面的研究报道。为此,本研究通过对该林区青海云杉天然林以及林缘区、皆伐迹地人工抚育云杉林的植被组成、群落生活型谱、物种多样性等进行调查分析,研究其天然林植被组成、林木分布特征与人工抚育林之间异同性以及人工林群落植被演替动态变化,以期掌握该区域云杉林植被自然演替特征及物种多样性变化,为该区域退化青海云杉林以及皆伐林地植被重建与修复提供科学依据。

1 研究区概况

研究区位于祁连山中东段(哈溪—祁连—大黄山),地理坐标位于 37°22′13.4″—38°25′52.9″N、102°15′42.9″—103°14′48.5″E,海拔 2 622~2 998 m。该区年平均气温 -0.6~2.0℃,极端最高气温 28℃,极端最低温度 -36℃,相对湿度 50%~70%,

年蒸发量 1 200 mm 左右,无霜期 90~120 d,年均日照时数 2 130.5 h,日照百分率为 48%。

林地为该区域主体顶级群落天然云杉林以及 70 年代、2002 年的云杉人工林;土壤以森林灰褐土为主^[13]。

2 材料与方法

采用空间序列代替时间的方法,于 2013 年 7—8 月在祁连山哈溪—祁连—大黄山一带典型天然云杉林以及相邻区域 70 年代、2002 年的人工云杉林中布设样地,研究其植被组成、物种多样性以及林分特征。为了避免天然林与人工林生境异质,样地微区域海拔、坡向、坡度、土壤等基本一致。

2.1 样地布设与调查

2.1.1 天然林区 选择典型样地 10 个,根据微区域海拔不同设定高、中、低 3 个梯度,每个梯度布设 20 m×20 m 大样方,每个大样方布设 5 个 5 m×5 m 中样方和 5 个 1 m×1 m 的小样方。抽样调查大样方内乔木高(罗盘测定仪)、胸/地径(卷尺)、树龄(生长锥),统计所有物种数及株数;抽样调查中样方内灌木高(塔尺)、冠幅(卷尺),统计所有物种数及株数;抽样调查样方内草本高、冠幅,统计所有物种数及株数。

2.1.2 人工林区 分别在 70 年代、2002 年的人工云杉林地内各选择 3 个样地,每个样地布设 3 个 10 m×10 m 中样方,每个中样方内布设 5 个 1 m×1 m

的小样方;具体调查同上。

此外,乔木根据树高(<5 m、5~10 m、10~15 m、15~20 m、>20 m)和胸径/地径(<10 cm、10~20 cm、20~30 cm、30~40 cm、>40 cm)进行调查统计;灌木根据灌丛分 3 级,每级至少调查 3~5 株;草本每种调查 3 株;木本植物单种株数<5 时,全部调查;草本植物单种株数<3 时,全部调查。

2.2 物种多样性测定

采用重要值(IV)测定群落种群组成,选取 Margale 指数(D_{ma})、Simpson 指数(D_{sim})、Shannon-Wiener 指数(H')衡量植物群落物种多样性特征,Pielou 均匀度指数(J_{sw})衡量植物群落物种分布均匀程度^[14]。样地内群落的多样性指数按对应样方内各样方的多样指数平均值计。

乔木层重要值计算:
重要值=(相对胸高断面积+相对多度+相对平度)/300

灌丛层、草本层的重要值计算:
重要值=(相对多度+相对频度+相对盖度)/300

物种丰富度 Margalef 指数(D_{ma}):
 $D_{ma} = (S - 1) / \ln N$
物种多样性 Simpson(D_{sim})与 Shannon-Wiener (H')指数:

$D_{sim} = 1 - \sum_{i=1}^S P_i^2 (i=1, 2, \dots, S)$
 $H' = - \sum_{i=1}^S (P_i \ln P_i) (i=1, 2, \dots, S)$

Pielou 的均匀性指数(J_{sw}):
 $J_{sw} = - \sum P_i \ln P_i / \ln S$

式中:S 为物种数目,N 为全部物种的个体总数, P_i 为物种 i 的重要值比值。

2.3 统计分析

对所得数据用 Excel2007 和 SPSS 17.0 软件进行处理。

3 结果与分析

3.1 青海云杉人工林与天然林群落植被组成异同性

70 年代人工云杉林样方内出现了 35 种(人工云杉除外),分属于 19 科 32 属。其中,蒲公英属、唐松草属以及马先蒿属为单属 2 种,其余 29 种植物均为单属单种。2002 年人工云杉林样方内出现了 27 种(人工云杉除外),分属于 14 种 24 属,除蒲公英属、唐松草属、马先蒿属为单属 2 种外,其余物种均属于单属单种。云杉天然林样方内共出现了 40 种植物,分属于 19 科 35 属,其中,蔷薇科 5 属 7 种、菊科 3 属 5 种、毛茛科 3 属 4 种,其余物种除龙胆科、

玄参科、禾本科、豆科、伞形科为 2 属 2 种外均为单属单种。这说明祁连山青海云杉天然林以及 70 年代、2002 年人工林植被组成比较单一,植物物种大部分属于单属单种,部分甚至为单科单属单种。

根据 J. T. Curtis 和 R. P. McIntosh 在森林群落分析中提出的重要值计算方法,得出研究区天然云杉林、70 年代人工林以及 2002 年人工林乔木层、灌木层、草本层物种组成(表 1)。由表 1 可知,3 种林均为云杉纯林。其中,天然林灌木层优势种为银露梅、红花蔷薇和金露梅,草本层优势种为苔草、珠芽蓼、高乌头、藓生马先蒿和小花草玉梅;70 年代人工林灌木层优势种为金露梅、银露梅和高山绣线菊,草本层优势种为珠芽蓼、黄花棘豆、小花草玉梅、苔草和披碱草;2002 年人工林草本层优势种为珠芽蓼、甘青蒿、箭叶橐吾、节节草和鹅绒委陵菜。这说明 70 年代人工林灌木层和草本层植被演替已处于相对稳定阶段;2002 年人工林灌木层植被仍处于演替前期,但草本层植被演替已处于相对稳定期。

3.2 青海云杉人工林与天然林植物群落生活谱特征异同性

按丹麦生态学家 Raunkiaer 的生活型系统进行分类^[15],青海云杉天然林及人工抚育林 48 个样方内植物群落生活型谱如表 2 所示。由表 2 可知,祁连山天然云杉林、70 年代人工林以及 2002 年人工林植物群落生活型谱变化较大。其中,3 种林型高位芽植物、地下芽植株以及 1 年生草本的种数和比例两两之间均存在显著差异($P < 0.05$),天然林与人工林地面芽植物种数间存在显著差异($P < 0.05$),2002 年人工林与天然林和 70 年代人工林地面芽植物种数百分比间存在显著差异($P < 0.05$),其他的差异均不显著。此外,从 2002 年人工林—70 年代人工林—天然林,高位芽植物种类及其百分比值逐渐增大,而地下芽和 1 年生草本植物种数及其百分比值逐渐变小;3 种林型中地面芽植物种数最多,其百分比值均在 50% 以上。

3.3 青海云杉天然林与人工林群落乔木层林木分布异同性

3.3.1 林木垂直分布特征 依据株高的 5 个等级,青海云杉天然林及人工林样方内云杉林木不同等级的株数百分如图 1 所示。由图 1 可知,天然云杉林乔木层林木主要分布在 10~15 m 和 15~20 m 的等级内,其株数百分比高达 37.12% 和 31.44%;等级 5~10 m 和 20~25 m 株数几乎一样,其百分比分别为 11.35% 和 11.58%;等级 0~5 m 的株数最少,百分比仅为 8.51%。70 年代和 2002 年云杉人工林乔木层林木树高分别分布在在 3.0~3.7 m 和

表 1 祁连山青海云杉天然林与人工林群落物种组成

Table 1 The plant community composition of natural forests and plantations of *P. crassifolia* in Qilian Mountains

林型	冠层	物种组成
天然林	乔木层	青海云杉
	灌木层	银露梅(<i>Potentilla glabra</i>)、华西蔷薇(<i>Rosa moyesii</i>)、金露梅(<i>Potentilla fruticosa</i>)、鲜黄小檗(<i>Berberis diaphana</i>)、密刺蔷薇(<i>Rosa spinosissima</i>)、忍冬(<i>Lonicera hispid</i> a)、匙叶小檗(<i>Berberis verna</i> e)、高山绣线菊(<i>Spiraea alpina</i>)、茶藨子(<i>Ribes odoratum</i>)、灰栒子(<i>Cotoneaster acutifolius</i>)
	草本层	披针苔草(<i>Carex lansuensis</i>)、珠芽蓼(<i>Polygonum viviparum</i>)、高乌头(<i>Aconitum sinomontanum</i>)、藜生马先蒿(<i>Pedicularis muscicola</i>)、小花草玉梅(<i>Anemone rivularis</i>)、东方草莓(<i>Fragaria orientalis</i>)、小花凤毛菊(<i>Saussurea parviflora</i>)、白缘蒲公英(<i>Taraxacum leucanthum</i>)、猪殃殃(<i>Galium aparine</i>)、黄花棘豆(<i>Oxytropis ochrocephala</i>)
70 年代人工林	乔木层	青海云杉
	灌木层	金露梅、金露梅、高山绣线菊、鲜黄小檗、山生柳(<i>Salix oritrepha</i>)、甘肃瑞香(<i>Daphne tangutica</i>)
	草本层	珠芽蓼、黄花棘豆、小花草玉梅、披针苔草、披碱草(<i>Elymus dahuricus</i>)、早熟禾(<i>Poa pratensis</i>)、火绒草(<i>Leontopodium alpinum</i>)、白缘蒲公英、藜生马先蒿、唐松草(<i>Thalictrum alpinum</i>)
2002 年人工林	乔木层	青海云杉
	灌木层	—
	草本层	珠芽蓼、甘青蒿(<i>Artemisia tangutica</i>)、箭叶橐吾(<i>Ligularia sagitta</i>)、节节草(<i>Equisetum ramossissimum</i>)、鹅绒委陵菜(<i>Potentilla anserina</i>)、披针苔草、黄芪、鼠掌老鹳草(<i>Geranium sibiricum</i>)、早熟禾、小米草(<i>Euphrasia pectinata</i>)

注:表 1 根据物种重要值从大到小依次列出的前 10 名,“—”表示该林层没有物种分布。

表 2 祁连山青海云杉天然林、人工林群落生活型谱异同性

Table 2 The similarities and differences of life form spectrum between of natural forests and plantations of *P. crassifolia*

林型	高位芽植物		地上芽植物		地面芽植物		地下芽植物		1 年生草本	
	种数	比例/%	种数	比例/%	种数	比例/%	种数	比例/%	种数	比例/%
天然林	14 a	35.00 a	0 a	0.00 a	20 a	50.00 a	3 a	7.50 a	3 a	7.50 a
70 年代人工林	7 b	20.00 b	0 a	0.00 a	21 a	60.00 b	3 a	8.57 ab	4 b	11.43 b
2002 年人工林	1 c	3.70 c	0 a	0.00 a	16 b	59.26 b	4 b	14.81 b	6 c	22.22 c

注:同列字母不同者表示差异显著($P<0.05$);反之,差异不显著。下同。

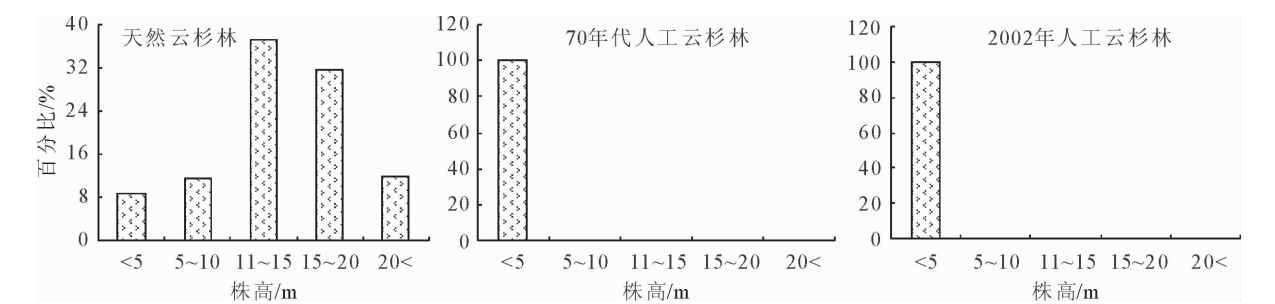


图 1 不同等级株高的林木株数百分比值分布

Fig. 1 The distribution of the percentages of the trees in different classes of height

1.0~1.5 m 之间。以上结果说明天然林林分垂直分化明显,呈现出近正态分布;70 年代和 2002 年人工云杉林林木纵向生长未出现明显的分化现象,也没有更新苗出现,其均处于幼龄林郁闭前阶段期。

3.3.2 林木径级分布特征 天然云杉林乔木层林木株数按照胸径<10 cm、10~20 cm、20~30 cm、30~40 cm 和>40 cm 5 个等级进行统计,并计算出了不同径级株数百分比(图 2)。由图 2 可知,天然云杉林乔木层林木主要分布在 10~15 cm 和 15~20 cm 2 个径级内,其株数百分比高达 38.02% 和 40.12%;其次为分布于 30~40 cm 径级内林木,其株数百分比为 14.07 %;分布于<10 cm 和>40 cm

径级的株数最少,两者的百分比和<8%。70 年代和 2002 年云杉人工林乔木层林木地径分布在 6.0~8.2 cm 和 2.3~3.2 cm 之间。

3.4 青海云杉天然林与人工林群落物种多样性异同性

采用特定的物种多样性指数对天然云杉林、70 年代人工林以及 2002 年人工林特定样方内乔木层、灌木层以及草本层物种多样性进行统计分析(表 3)。由表 3 可知,3 种林型乔木层完全一样,物种只有云杉,但灌木层和草本层之间存在较大差异。在灌木层中,2002 年人工云杉林中尚未出现任何灌木,天然林和 70 年代人工林均有多种灌木出现,且

两者的几个多样性指数差异显著($P<0.05$);天然林所有多样性指数值均大于70年代人工林的指数值,特别是物种数、丰富度指数以及均匀度 J_{sw} 指数分别是70年代人工林的2.17、2.07倍和3.06倍。

在草本层中,3种林型除丰富度指数和均匀度指数 J_{sw} 差异显著($P<0.05$)外,其余的指数间差异均不明显。

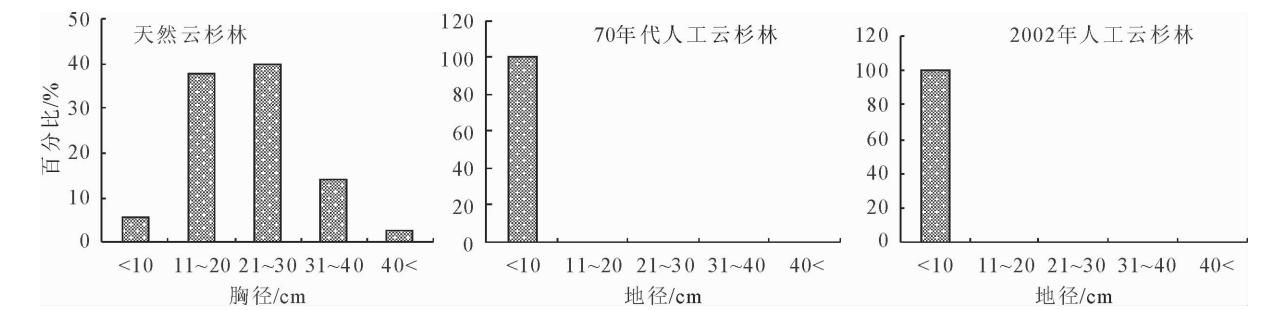


图2 不同径级的林木株数分布

Fig. 2 The distribution of the number of trees in different DBH or ground diameter

表3 祁连山青海云杉天然林与人工林群落物种多样性

Table 3 The community species diversity of natural forests and plantations of *P. crassifolia* in Qilian Mountains

林型	冠层	物种数 <i>S</i>	物种丰富度 D_{ma}	物种多样性指数		均匀性指数 J_{sw}
				D_{sim}	H'	
天然林		1 a	—	—	—	—
70年代人工林	乔木层	1 a	—	—	—	—
2002年人工林		1 a	—	—	—	—
天然林		13 a	1.210 a	0.8957 a	2.3943 a	1.3019 a
70年代人工林	灌木层	6 b	0.5849 b	0.7442 b	1.5315 b	0.4255 b
2002年人工林		—	—	—	—	—
天然林		26 a	1.5953 a	0.9026 a	2.7937 a	1.3627 a
70年代人工林	草本层	29 a	2.1545 b	0.9027 a	2.5346 a	1.1787 b
2002年人工林		27 a	2.2121 b	0.9256 a	2.7164 a	1.1242 b

注:“—”表示该林层仅有1种或没有物种分布。

4 结论与讨论

植物群落种类组成是决定群落性质最重要的因素^[16-18],植物种类的重要值大小可作为群落中植物优势度的一个度量标志,代表着每个植物的相对重要性和最适生境。通过对祁连山青海云杉人工林与天然林植被调查,3种林植被群落物种较少(天然林40个种、70年人工林35个种、2002年人工林27个种),大部分物种属于单属单种。这可能是青海云杉是喜阴耐寒树种,适合其生境的灌木和草本较少,致使其天然林和人工林植物群落物种组成比较单一。

青海云杉人工林逐渐发育过程中,乔木层几乎为青海云杉,只有在林缘区或不同坡向相邻处偶见与祁连圆柏或山杨混交。70年代人工林灌木层优势种为银露梅、金露梅和高山绣线菊,2002年人工灌木层未出现灌木,而天然云杉林灌木层优势种为银露梅、红花蔷薇和金露梅。这说明祁连山云杉林灌木层植被演替比较缓慢,其在人工林重建10 a后才逐渐零星出现,40 a灌木逐渐出现,但其优势种仍

在变化。70年代和2002人工林草本层均以珠芽蓼为主,而天然林草本层优势种主要以苔草为主,这意味着草本层植被演替相对比较快,并在一定时间内(10~40 a)物种组成相对比较稳定。虽然祁连山青海云杉人工林林地植被演替相对比较缓慢,但其植被演替特征及规律与其他类型林地的相似^[19-20]。

研究资料显示,生活型是植物对环境条件适应后在其生理、结构,尤其是在外部形态的一个具体反映^[19-22]。本研究发现,祁连山云杉人工林和天然林均以地面芽植物为主,其种类百分比在50%以上,这说明该区域属于寒温带针叶林气候;从2002年人工林—70年代人工林—天然林灌木层和草本层植被自然演替过程中,高位芽植物种类逐渐增大,而地下芽和1年生草本植物种数逐渐变小。这可能是人工林建成初中期,灌木层物种逐渐增加,草本层植被由1年生或2年生植被逐渐演替为多年生草本所导致。

森林乔木层林木径级分布及垂直分布不仅反映森林蓄木量,同时也体现着森林所处的稳定性。通

过对祁连山天然云杉林乔木层林木径级、株高调查发现,该区域云杉径级主要分布在 10~20 cm 之间,树高主要分布在 10~30 m 之间,云杉林乔木层林木株数在不同径级、不同高度分布均趋向于对称性概率分布,这说明祁连山青海云杉天然林比较健康,其在演替过程中具有较好的稳定性。70 年代和 2002 年人工云杉林乔木层林木地径和株高分别分布在 6.0~8.2、2.3~3.2 cm(地径)和 3.0~3.7、1.0~1.5 m 之间,这说明祁连山地区青海云杉生长极其缓慢,人工林仍处于幼龄林郁闭前阶段。

植物群落物种多样性是一个群落中物种数目和各物种个体数目分配的均匀度^[14],是群落结构组成的重要特征^[17]。本研究发现,研究区自然条件相似的天然云杉林、70 年代和 2002 年人工云杉纯林乔木层只有云杉 1 种,而灌木层以及草本层多样性指数差异较大。在灌木层中,2002 年人工林中未出现灌木,70 年代人工林虽然出现了少量灌木,但其物种数、丰富度、多样性及均匀小于天然林;在草本层中,人工林丰富度 D_{ma} 指数显著大于天然林,而天然林均匀度 J_{sw} 指数明显大于 2 种人工林,其余的指数间差异均不显著。这说明祁连山天然云杉林灌木层有较高的物种多样性,草本层物种分布更均匀;人工云杉林建植 40 a 后,灌木层物种仍然比较稀少,草本物种比较多,但均匀度比较小。这表明祁连山人工云杉纯林建植 40 a 后,其灌木层物种仍处于变化中,草本层植被在人工林建植 10~40 a 期间处于一个阶段性的稳定状态。因监测时间过短,本文只分析研究了祁连山青海云杉人工林建植后 40 多 a 的生长发育,有关其乔木层 50 a 后个体发育、灌木层物种组成何时稳定以及草本层植被何时进入下一个阶段演替等有待于继续监测研究。

综合以上分析以及林地实地调查,针对祁连山青海云杉退化或皆伐区域植被修复与重建工作,建议乔木层林地核心区以青海云杉为主,山脊或阴阳坡交汇区域可零星地营造青海云杉与祁连圆柏或山杨混交林;灌木层、草本层以“封育+自然恢复”即可。

参考文献:

[1] 汪有奎,贾文雄,刘潮海,等. 祁连山北坡的生态环境变化[J]. 林业科学,2012,48(4):21-26.
WANG Y K, JIA W X, LIU C H, *et al.* Ecological environment change in the north slope of the Qilianshan Mountains [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2012, 48(4): 21-26. (in Chinese)

[2] 孟好军,刘建泉,刘贤德,等. 祁连山青海云杉群落物种组成及 α 多样性垂直分布[J]. 生态环境学报,2011,20(3):435-440.
MENG H J, LIU J Q, LIU X D, *et al.* Species composition and

vertical distribution pattern of diversity of the *Picea crassifolia* community in Qilian Mountains of Gansu, China [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2011, 20(3): 435-440. (in Chinese)

[3] 杨银科,黄强,刘禹,等. 云杉树轮生长密度对气候要素的响应分析[J]. 西安理工大学学报,2012,28(4):432-438.
YANG Y K, HUANG Q, LIU Y, *et al.* Response analysis between climate factors and the density of wood growth of *Picea crassifolia* [J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2012, 28(4): 432-438. (in Chinese)

[4] 赵维俊,刘贤德,金铭,等. 祁连山青海云杉林群落结构特征分析[J]. 干旱区研究,2012,29(4):615-620.
ZHAO W J, LIU X D, JIN M, *et al.* Analysis on community structure of *Picea crassifolia* forest in Qilian Mountains [J]. Arid Zone Research, 2012, 29(4): 615-620. (in Chinese)

[5] 王金叶,张学龙,张虎,等. 祁连山水源涵养林组成结构及生长状况[J]. 西北林学院学报,2001,16(增):4-7.
WANG J Y, ZHANG X L, ZHANG H, *et al.* Analysis of productivity and composition structure of water resources conservation forest in Qilian Mountains [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2001, 16(Supp.): 4-7. (in Chinese)

[6] 胡发成,于天明,段军红,等. 祁连山东部北坡植被垂直分布特征及保护措施[J]. 草业科学,2007,24(1):13-16.
HU F C, YU T M, DUAN J H, *et al.* Vertical distribution character and protective measures of the north-slope vegetation on the east part of Qilian Mountains [J]. Pratacultura Science, 2007, 24(1): 13-16. (in Chinese)

[7] 罗龙发,牛赞,王艺林,等. 祁连山青海云杉林温度变化对土壤呼吸的影响[J]. 林业科学,2007,43(10):117-121.
LUO L F, NIU Y, WANG Y L, *et al.* Effect of temperature on soil respiration in *Picea crassifolia* forest of Qilian Mountains [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2007, 43(10): 117-121. (in Chinese)

[8] 张学龙,赵维俊,车宗玺. 祁连山青海云杉林土壤氮的含量特征[J]. 土壤,2013,45(4):616-622.
ZHANG X L, ZHAO W J, CHEN Z X. Characteristics of nitrogen contents of *Picea crassifolia* forest in Qilian Mountains [J]. Soil, 2013, 45(4): 616-622. (in Chinese)

[9] 刘建泉. 祁连山保护区青海云杉种群分布格局的研究[J]. 西北林学院学报,2004,19(2):152-155.
LIU J Q. Spatial pattern of *Picea crassifolia* population in Qilianshan nature conservation [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2004, 19(2): 152-155. (in Chinese)

[10] 王国宏,杨利民. 祁连山北坡中段森林植被梯度分析及环境解释[J]. 植物生态学报,2001,25(6):733-740.
WANG G H, YANG L M. Gradient analysis and environmental interpretation of woody plant communities in the middle section of the northern slopes of Qilian Mountain, Gansu, China [J]. Acta Phytocologica Sinica, 2001, 25(6): 733-740. (in Chinese)

[11] 王国宏. 祁连山北坡中段植物群落物种多样性的垂直分布格局[J]. 生物多样性,2002,10(1):7-14.
WANG G H. Species diversity of plant communities along an altitudinal gradient in the middle section of northern slopes of Qilian Mountains, Zhangye, Gansu, China [J]. Biodiversity

Science,2002,10(1):7-14. (in Chinese)

[12] 张金雪,李进军. 祁连山水源涵养林保护与恢复的科学发展战略探讨[J]. 西北林学院学报,2004,19(1):152-155.
ZHANG J X and LI J J. The inquirment into the science and technology strategy development for protecting and renewing of waterhead-conserved forest in the Qilian Mountains [J]. Journal of Northwest Forestry University,2004,19(1):152-155). (in Chinese)

[13] 刘建泉,丁国民,赫虎,等. 青海云杉群落特征和动态研究[J]. 西北林学院学报,2008,23(1):14-17.
LIU J Q,DING G M,HE H,*et al.* Strncture and dynamic of picea classifolia community in Qilian Mountains forest area [J]. Journal of Northwest Forestry University,2008,23(1):14-17. (in Chinese)

[14] 刘林馨. 小兴安岭森林生态系统植物多样性及生态服务功能价值研究[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2012:18-19.

[15] 宋永昌. 植被生态学[M]. 上海:华东师范大学出版社,2001:99-116.

[16] 柴勇,孟广涛,方向京,等. 云南金沙江流域退化林地群落特征研究[J]. 西北林学院学报,2004,19(2):146-151.
CHAI Y,MENG G T,FANG X J,*et al.* Community feature of degraded forest along the reaches of Jinshajiang in Yunnan Province [J]. Journal of Northwest Forestry University,2004,19(2):146-151. (in Chinese)

[17] 史作民,程瑞海,刘世荣,等. 宝天曼植物群落多样性研究[J]. 林业科学,2002(60):17-23.
SHI Z M,CHEN R H,LIU S R,*et al.* Study on species diver-

sity of plant communities in Baotianman [J]. Scientia Silvae Sinicae,2002,38(6):17-23. (in Chinese)

[18] 李贵祥,孟广涛,方向京,等. 滇中高原桉木人工林群落特征及生物量分析[J]. 浙江林学院学报,2006,23(4):362-366.
LI G X,MENG G T,FANG X J,*et al.* Characteristics of *Alnus cremastogyne* plantation community and its biomass in central Yunnan Plateau[J]. Journal of Zhejiang Forestry College,2006,23(4):362-366. (in Chinese)

[19] 刘守江,苏智先,张璟霞,等. 陆地植物群落生活型研究进展[J]. 四川师范大学学报:自然科学版,2003,24(2):155-159.
LIU S J,SU Z X,ZHANG J X,*et al.* Perspectives of the research on life from in land plant communities[J]. Journal of Sichuan Teachers College: Nat. Sci. Edi. ,2003,24(2):155-159. (in Chinese)

[20] 何芳兰,李治元,赵明,等. 民勤绿洲边缘盐碱化退耕地植被自然演替规律及土壤水分垂直变化研究[J]. 中国沙漠,2010,30(6):1374-1380.
HE F L,LI Z Y,ZHAO M,*et al.* Natural vegetation succession and soil water change in fallow salinization cropland in Minqin oasis,Gansu Province[J]. Journal of Desert Research,2010,30(6):1374-1380.

[21] MUELLER-DOMBOIS D,ELLENBERG H. Aims and methods of vegetation [M]. New York:John Wiley & Sons,1974:139-147.

[22] WHITTAKER R H. Communities and ecosystems [M]. New York;Macmillan Company,1970:6-7.