•生物编目•

阴山山脉天然侧柏林的基本特征

陈 龙^{1,2} 秦 帅³ 旭 日¹ 杨 柳¹ 赵利清^{1*}

1 (内蒙古大学生态与环境学院, 呼和浩特 010020)

2 (甘肃自然能源研究所, 兰州 730000)

3 (天津(北京)湿地保护技术研究院, 北京 100080)

摘要: 阴山山脉是中国天然侧柏(*Platycladus orientalis*)林分布的西北界, 侧柏林也是阴山山脉最主要的森林群落之一。它具有较好的固坡、保土、涵养水源及改善生境的作用。为了解阴山山脉天然侧柏林种群、群落特征和空间分布规律以更好地为侧柏林的经营提供理论依据, 我们以阴山山脉大青山及乌拉山段天然侧柏林为研究对象, 通过样方调查, 分析了侧柏林的植物区系特征, 并根据群落各层片物种优势度将该区侧柏林划分为6个群丛类型, 分析了各群丛特征及其空间分布的生态序列。结果表明: (1)阴山山脉天然侧柏林群落共出现维管植物96种, 隶属于30科70属, 种的地理成分包括8个类型18个亚型, 其中东古北极分布最多, 其次为东亚分布; (2)从群落结构分析, 发育良好的侧柏群落表现为完整的乔木层和草本层, 灌木盖度普遍偏低, 基本不能成层, 在干扰较为严重的地段甚至消失; (3)各群丛侧柏的径级结构基本呈正态分布, 属于稳定的群落类型, 侧柏的平均株高随胸径的增大整体呈增长型; (4)该区侧柏林受干扰较严重, 加之严酷的生境条件, 建群种侧柏的平均胸径较小且植株分叉较多, 不适合作为用材林, 建议将其作为生态公益林及种源林加以保护利用。

关键词: 阴山山脉; 天然侧柏林; 群落特征; 径级结构; 演替序列

Characteristics of natural *Platycladus orientalis* forests in the Yin Mountains of Northwest China

Long Chen^{1,2}, Shuai Qin³, Ri Xu¹, Liu Yang¹, Liqing Zhao^{1*}

1 School of Ecology and Environment, Inner Mongolia University, Hohhot 010020

2 Gansu Natural Energy Research Institute, Lanzhou 730000

3 Tianze (Beijing) Wetland Protection Technology Research Institute, Beijing 100080

Abstract: Natural *Platycladus orientalis* forests in the Yin Mountains are the northwestern boundary of natural Chinese *P. orientalis* forests and also one of the most important forests in the Yin Mountains, with respect to erosion prevention, soil conservation, water conservation, and habitat improvement. This study examined details about the characteristics of the population, community, and distribution of natural *P. orientalis* forests, to allow for better management as well as to provide a theoretical basis. Natural *P. orientalis* forests in Daqing Mountain and Wula Mountain were selected as the research subjects, and through quadrat investigations, were divided into 6 associations. Characteristics of the flora and the structure were analyzed. We also discussed the diameter structure of each association of *P. orientalis* and the distribution succession series between associations. The main results are as follows: (1) There were 96 vascular plants belonging to 70 genera of 30 families found in the natural *P. orientalis* forests, and the geographic components of species contained 8 types and 18 subtypes, which were mainly distributed in the East Pan-North Pole, followed by East Asia; (2) From the analysis of community structure, well-developed natural *P. orientalis* forests were characterized by a tree layer and herb layer, however the shrub was sensitive to interference, and coverage was generally lower in areas with more human interference, and could even disappear; (3) The diameter structure of *P. orientalis* followed a normal distribution which is a stable community type, and average plant height increased with the diameter overall growth model; (4) Due to strong interference and harsh habitats,

收稿日期: 2017-11-15; 接受日期: 2017-12-20

基金项目: 国家自然科学基金(31670532)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: zhaotieniu@126.com

the average diameter of *P. orientalis* was small, and they were also more bifurcation which is not suitable for timber forests. We suggest regarding these natural *P. orientalis* forests as ecological and provenance forests.

Key words: Yin Mountains; natural *Platycladus orientalis* forests; community characteristics; diameter structure; succession series

侧柏(*Platycladus orientalis*)林是温性针叶林,广泛分布于中国华北地区,向北达辽宁西部努鲁儿虎山南的凌源山脉、松岭山脉及南段的柏山山脉,向南可达北亚热带北缘的江苏盱眙石灰岩丘陵地带,此外在云南西北部德钦一带也有分布(吴征镒, 1980)。目前平原区的侧柏林多是人工栽培。由于天然侧柏林主要分布在山区,且立地条件较差,人们对其群落特征和演替规律的研究相对较少,仅在滇西北(黄礼梅等, 2007)和陕北黄土高原(岳明, 1998)做过较为系统的研究。此外,《山西植被志: 针叶林卷》(郭东罡, 2014)一书中对中国侧柏林的研究做了较详细的总结,但是没有提及内蒙古侧柏林的信息。阴山山脉是我国天然侧柏林分布的西北界,它们主要集中分布于大青山西段和乌拉山,是阴山山地分布面积最大的针叶林,是中国天然侧柏林的重要组成部分。除在《内蒙古森林》(冯林, 1989)一书中有过简单的描述外,阴山山脉侧柏林的群落特征及动态变化未有过系统研究。

本文试图从植物区系组成、群落结构特征以及群落空间分布的演替序列来分析阴山山脉天然侧柏林的特征和动态变化,为合理有效地保护和利用天然侧柏林提供理论依据,同时为系统、全面认识中国天然侧柏林的群落特征、动态、空间分布规律以及植被志侧柏林部分的编写提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区主要设在侧柏林分布比较集中的乌拉山及大青山西段南坡,地理坐标为108°–111° E, 40°–41° N (图1)。该区地处蒙古高原中温带干旱气候区,年降水量在山前为250–280 mm,山中为450–500 mm,降水主要集中于7–9月(胡尔查等, 2013)。地带性土壤为栗钙土和棕钙土,山地林下以灰褐土为主。地带性植被为暖温性典型草原和荒漠草原,由于山体的抬升和水热的组合,这里的植物区系和植被相对丰富和复杂,山地垂直带谱较为明

显,是阴山山脉森林–灌丛–草原景观表现较为完整的地段。高海拔森林群落阳坡以油松(*Pinus tabulaeformis*)林为主,阴坡以白桦(*Betula platyphylla*)林为主,此外低海拔分布有旱榆(*Ulmus glaucescens*)疏林、杜松(*Juniperus rigida*)疏林等森林群落类型。灌丛群落主要有黄刺玫(*Rosa xanthina*)灌丛、长梗扁桃(*Amygdalus pedunculata*)灌丛、蒙古扁桃(*A. mongolica*)灌丛、耧斗叶绣线菊(*Spiraea aquilegifolia*)灌丛、土庄绣线菊(*S. pubescens*)灌丛、三裂绣线菊(*S. trilobata*)灌丛等。天然侧柏林主要分布在海拔1,200–1,500 m的石质山坡,另外在山谷平地也有小范围分布。由于坡度较大,地表覆土薄瘠或岩石裸露,生存条件较为恶劣,因此侧柏基本以纯林形式存在,群落内偶见旱榆、杜松孤立木,仅在侧柏林分布上限局部地段,可以与杜松混生形成共建群落。

1.2 研究方法

1.2.1 样地调查

在对阴山山脉侧柏林全面踏查的基础上,于2013年8月和2014年9月进行系统的样方调查,根据不同海拔、坡度、坡向,选择具有代表性的9块样地。每块样地均选择完整坡面,采用样方法分别调查侧柏群落的乔木层、灌木层及草本层。对于侧柏林发育较好的4块样地,根据方精云等(2009)植物群落样地清查方法,将乔木样方面积设置为20 m × 30 m,采用相邻网格法,将每个乔木样方分成6个10 m × 10 m的小样方;对于受人为干扰较严重、侧柏林发育较差的5块样地,乔木样方设置为20 m × 20 m。对每个样方内所有乔木和灌木进行每木检尺,其中乔木记录其物种、冠幅、株高、胸径,灌木记录其种类、冠幅、高度。由于侧柏林草本层的物种组成均一,因此在乔木样方内,沿对角线依次设置3个1 m × 1 m的草本样方,9个样地共27个。分别记录其物种组成、高度、密度、分盖度、生物量,同时记录样地经度、纬度、海拔、坡度、坡向等环境因子。

图1 阴山山脉天然侧柏林研究区的地理位置

Fig. 1 The location of study area of the natural *Platycladus orientalis* forests in Yin Mountains

1.2.2 径级结构的划分

根据2011年中国森林资源规划设计调查技术规程(GB/T 26424-2010), 视林分平均胸径确定径阶距: 当林分平均胸径小于12 cm时, 采用2 cm为一个径阶距, 林分平均胸径大于12 cm时, 采用4 cm为一个径阶距(孟宪宇, 2006)。

1.2.3 数据处理

乔木层、灌木层的盖度按测量样方中每株覆盖面积, 减去重叠部分后求和再除以样方面积得到, 草本层盖度采用分割目测法估计。

群落中优势种的确定是以各层片物种重要值(IV)为依据, 各层片物种重要值计算公式如下:

乔木层: $IV = (\text{相对密度} + \text{相对高度} + \text{相对优势度})/3$ (1)

灌木层: $IV = (\text{相对密度} + \text{相对盖度} + \text{相对高度})/3$ (2)

草本层: $IV = (\text{相对高度} + \text{相对盖度} + \text{相对生物量})/3$ (3)

其中, 相对优势度 = 某个种的胸高断面面积/所有种的胸高断面面积(方精云等, 2009);

$$\text{林分平均胸径 } D_g = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N d_i^2} \quad (4)$$

d_i 表示第*i*株林木的胸径, N 表示林分内林木个体总数(孟宪宇, 2006)。

林分平均株高指林分中所有侧柏高度的算术平均数。

2 结果

2.1 侧柏林植物区系组成及地理成分

2.1.1 侧柏林植物区系组成

按照中国植物志的物种划分标准, 阴山山脉天然侧柏林群落中共记录维管植物96种, 隶属于30科70属(附录1)。其中蕨类植物为卷柏科, 含1属2种; 裸子植物为柏科, 含2属2种, 各自占样地中维管植物总种数的2.1%。被子植物在种类上占绝对优势, 共28科67属92种, 占样地维管植物总种数的95.8%, 其中禾本科种类最多, 有16属20种, 占20.8%; 其次为菊科10属17种, 占17.7%; 然后依次为蔷薇科(7属11种)、豆科(2属6种)、百合科(3属4种)、藜科(2属3种)。其余的唇形科、卷柏科、莎草科、石竹科、鼠李科、玄参科、榆科、远志科、紫草科均含2种植物。另有13科仅含1属1种, 占样地中维管植物总科数的43.3%。从植物科组成的多样性也可以看出阴山该群落处于侧柏林分布区的边缘地带和区系分区的过渡带上。从禾本科、菊科所占比例可以反映出阴山山脉天然侧柏林地处北方草原区的一般特征, 而蔷薇科数量的增加又表现出山地植物区系的特点。

2.1.2 侧柏林植物区系地理成分

根据物种分布特征, 结合吴征镒等(2006)的《种子植物分布区类型及其起源和分化》和赵一之(2012)的《内蒙古维管植物分类及其区系生态地理分布》专著, 对阴山山脉天然侧柏林各维管植物区系地理成分进行分析(附录2)发现: 该群落维管植物种的分布区可划分为8个类型18个亚型, 其中东古北极分布共35种, 所占比例最大(36.5%), 其次为东亚分布, 共27种, 占样地中维管植物总数的28.1%, 再次为亚洲中部分布, 共10种, 占10.4%。其他的区系成分还包括古北极分布、泛北极分布、世界分布、泛温带分布以及中亚-亚洲中部分布, 共24种, 占样地中维管植物总种数的25%。组成侧柏林的植物区系成分以温带成分为主, 但东亚成分的显著增加体现了群落的自身特征及群落所处的环境地理特征。

2.2 侧柏群落垂直结构特征

结合野外样方数据, 通过对样地乔木层、灌木层、草本层重要值的计算, 综合分析不同层片各指数发现, 阴山山脉侧柏林乔木层发育最好, 其次为

草本层, 灌木发育最差, 基本不能成层(表1)。

乔木层是该群落的建群层片, 侧柏以绝对优势成为该层的优势树种, 形成侧柏纯林。林中偶尔可见杜松、大果榆(*Ulmus macrocarpa*)、旱榆等孤立乔木, 这些个体对乔木层的作用甚微。

灌木整体盖度较低, 基本不能成层, 但从物种组成角度分析, 不同立地条件灌木种类变化较大, 对干扰较为敏感。低海拔地区人为干扰较强, 灌木盖度及物种组成都相对较少, 有些群落甚至不见灌木。中、高海拔地带发育较好的侧柏林灌木多以蔷薇科黄刺玫、耧斗叶绣线菊、长梗扁桃、蒙古扁桃等为主, 并伴生以三裂绣线菊、黑桦树(*Rhamnus maximovicziana*)、小叶忍冬(*Lonicera microphylla*)、小叶鼠李(*Rhamnus parvifolia*)和准噶尔栒子(*Cotoneaster songoricus*)等, 群落中常见的半灌木有蒙古莠(*Caryopteris mongolica*)和白莲蒿(*Artemisia gmelinii*)。此外, 群落内的旱榆多以灌木的形式出现, 因此本研究将其划分到灌木层片分析。

草本层主要以旱中生或中生的多年生草本植物占优。在石质化程度较强的生境中, 草本层优势种为戈壁针茅(*Stipa tianschanica* var. *gobica*); 而在土层较厚的地段, 暖湿生境中草本层优势种主要是长芒草(*Stipa bungeana*); 随着生境向凉湿条件的转变, 草本层优势种被柄状薹草(*Carex pediformis*)、缘毛披碱草(*Elymus pendulinus*)、朝阳芨芨草(*Achnatherum nakaii*)等代替; 在干暖的阳坡土石相间的生境中, 草本层的优势种以白羊草(*Bothriochloa ischaemum*)为主。随着扰动压力的增大, 草本层植物常常逆向演替, 被一、二年生的植物所替代, 如猪毛蒿(*Artemisia scoparia*)、狗尾草(*Setaria viridis*)、三芒草(*Aristida adscensionis*)等。

2.3 侧柏林的群落类型及其林分特征

基于侧柏群落层片结构及各层片优势种的差异, 按照《中国植被》(吴征镒, 1980)的分类原则, 将此次调查到的侧柏群落划分为6个群丛类型。统计了各群丛的特征, 重点分析了乔木层侧柏的径级结构及各径阶平均株高的分布(图2), 结果如下:

I 侧柏-长芒草群丛(Ass. *Platycladus orientalis*-*Stipa bungeana*)主要分布于沟谷平地, 乔木层侧柏郁闭度32.0%, 平均株高5.2 m, 平均胸径13.8 cm, 相较于其他类型, 该群丛侧柏长势较好, 整体胸径较大(附录3-样地1)。径级结构呈左偏态分

布, 属典型的生长型种群。平均株高随胸径的增大而增加, 且线性趋势拟合较好(图2I)。分析其原因主要是沟谷水分相对充足, 且覆土层较厚。草本层植物表现出基带典型草原的特点, 群落总盖度在20.0-25.0%, 优势种为长芒草, 伴生种有短花针茅(*Stipa breviflora*)、糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa*)、抱茎苦苣菜(*Crepidiastrum sonchifolium* = *Ixeris sonchifolia*)、丛生隐子草(*Cleistogenes caespitosa*)等。群落中灌木主要以黄刺玫为主, 但由于人为扰动较大, 盖度较低, 不能形成层片。此外, 群落中还伴生有半灌木白莲蒿。

II 侧柏-缘毛披碱草+朝阳芨芨草群丛(Ass. *Platycladus orientalis*-*Elymus pendulinus* + *Achnatherum nakaii*)主要分布在花岗岩石质阴坡, 是该区阴坡发育较为完好的群落类型。乔木层侧柏郁闭度达52.0%, 平均株高5.8 m, 平均胸径11.6 cm, 径级结构在径阶8 cm和12 cm处出现峰值, 呈现双峰型分布, 整体以中小胸径个体为主(附录3-样地2)。平均株高随着胸径的增加基本呈线性增长趋势, 在径阶18 cm处株高有所降低, 而且株数较少, 说明该群丛类型在某一阶段受到一定的扰动(图2II)。草本层盖度在40.0-50.0%, 主要以缘毛披碱草、朝阳芨芨草等多年生中生、旱中生的丛生禾草为优势种, 伴生种主要是裂叶堇菜(*Viola dissecta*)、远志(*Polygala tenuifolia*)、芹叶铁线莲(*Clematis aethusifolia*)、尖齿糙苏(*Phlomis dentosa*)、中国顶冰花(*Gagea chinensis*)等, 其物种组成已经逐渐摆脱基带草原的影响, 而带有较明显的山地草原的特点。灌木主要以黄刺玫、旱榆、蒙古扁桃为主, 盖度达9.0%, 虽然整体还是较低, 但相较于其他群丛发育较好, 这与该立地条件受到的人为扰动较小以及水热的组合有关。

III 侧柏-一、二年生草本群丛(Ass. *Platycladus orientalis*-one or two herbs)在低海拔阴、阳坡都有分布, 它是侧柏林受到严重干扰后的一个变型, 样方数据(附录3-样地3、4)显示乔木层盖度在35.0%左右, 平均株高4.6 m, 侧柏平均胸径8.6 cm, 大部分个体呈灌丛化生长, 径级结构以小径级个体占优势, 整体呈正态分布。平均株高也是随着胸径的增大逐渐增加, 其中指数曲线拟合较好, 且径阶2 cm和16 cm的侧柏个体株高差异较大, 这与它们受到的扰动密切相关(图2III)。灌木层已经完全消失。草本层盖度在20.0-30.0%, 阴坡主要以一、二年生植物

表 1 阴山脉天然侧柏林样地基本信息及群落结构数量特征

Table 1 Plots basic informations and quantitative characteristics of community structure of the natural <i>Platycladus orientalis</i> forests in Yin Mountains												
样地 Plot	经纬度 Longitude and latitude	海拔 Altitude (m)	坡向 Slope Aspect	乔木层 Tree layer		灌木层 Shrub layer		草本层 Herb layer				
				物种 Species	盖度 Coverage (%)	物种 Species	盖度 Coverage (%)	物种 Species	盖度 Coverage (%)			
1	40°39'28.3" N 109°25'54.2" E	1,202	3° 沟谷平地 Gully flatland	侧柏 <i>Platycladus orientalis</i>	32.0	黄刺玫 <i>Rosa xanthina</i> 白莲蒿 <i>Artemisia gmelinii</i>	1.4 —	长芒草 <i>Stipa bungeana</i> 裂叶蒿菜 <i>Viola dissecta</i> 狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	17.0 1.5 1.0			
2	40°39'31.6"N 109°25'51.0"E	1,217	35° 半阴坡 Half-shaded slope	侧柏 <i>Platycladus orientalis</i> 杜松 <i>Juniperus rigida</i>	52.0 1.1	黄刺玫 <i>Rosa xanthina</i> 早榆 <i>Ulmus glaucescens</i> 蒙古扁桃 <i>Amygdalus mongolica</i>	7.2 1.4 0.3	朝阳芨芨草 <i>Achnatherum nakaii</i> 缘毛披碱草 <i>Elymus pendulinus</i> 柄状藁草 <i>Carex pediformis</i>	10.0 16.0 9.0			
3	40°40'58.7"N 109°14'57.9"E	1,242	32° 阳坡 Sunny slope	侧柏 <i>Platycladus orientalis</i>	40.0	—	—	狗尾草 <i>Setaria viridis</i> 猪毛菜 <i>Salsola collina</i> 戈壁针茅 <i>Stipa tianschanica</i> var. <i>gobica</i>	5.0 5.7 3.3			
4	40°40'40"N 109°12'49.6"E	1,290	50° 阴坡 Shady slope	侧柏 <i>Platycladus orientalis</i>	30.0	—	—	小花鬼针草 <i>Bidens parviflora</i> 蒺藜蒿 <i>Artemisa anethoides</i> 抱茎苦蕒菜 <i>Ixeridium sonchifolium</i>	10.0 5.0 3.7			
5	40°41'01.6"N 109°15'16.9"E	1,251	40° 阴坡 Shady slope	侧柏 <i>Platycladus orientalis</i>	30.0	—	—	戈壁针茅 <i>Stipa tianschanica</i> var. <i>gobica</i> 小红菊 <i>Chrysanthemum chanetii</i> 冰草 <i>Agropyron cristatum</i>	29.3 7.3 —			
6	40°39'12.1"N 109°25'40.8"E	1,307	40° 半阳坡 Half-sunny slope	侧柏 <i>Platycladus orientalis</i>	36.0	蒙古扁桃 <i>Amygdalus mongolica</i> 白莲蒿 <i>Artemisa gmelinii</i>	— —	白羊草 <i>Bothriochloa ischaemum</i> 戈壁针茅 <i>Stipa tianschanica</i> var. <i>gobica</i> 狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	4.8 3.3 1.3			
7	40°38'17.8"N 110°34'43.8"E	1,303	42° 半阴坡 Half-shaded slope	侧柏 <i>Platycladus orientalis</i>	38.0	早榆 <i>Ulmus glaucescens</i> 小叶鼠李 <i>Rhamnus parvifolia</i> 白莲蒿 <i>Artemisa gmelinii</i>	2.8 0.8 0.5	柄状藁草 <i>Carex pediformis</i> 牛尾蒿 <i>Artemisa dubia</i> 远志 <i>Polygala tenuifolia</i>	11.0 0.2 0.5			
8	40°42'08.9" N 109°18'29.5" E	1,375	35° 半阳坡 Half-sunny slope	侧柏 <i>Platycladus orientalis</i>	58.0	早榆 <i>Ulmus glaucescens</i>	0.2	柄状藁草 <i>Carex pediformis</i> 戈壁针茅 <i>Stipa tianschanica</i> var. <i>gobica</i> 朝阳芨芨草 <i>Achnatherum nakaii</i>	7.7 5.0 0.5			
9	40°42'11.8" N 109°18'19.0" E	1,379	30° 阴坡 Shady slope	侧柏 <i>Platycladus orientalis</i> 大果榆 <i>Ulmus macrocarpa</i> 杜松 <i>Juniperus rigida</i>	44.1 5.3 0.9	长梗扁桃 <i>Amygdalus pedunculata</i> 繸斗叶绣线菊 <i>Spiraea aquilegifolia</i> 白莲蒿 <i>Artemisa gmelinii</i>	0.7 0.3 0.1	柄状藁草 <i>Carex pediformis</i> 甘青针茅 <i>Stipa przewalskyi</i> 尖齿糙苏 <i>Phlomis dentosa</i>	21.0 5.8 5.3			

表中仅列出群落中重要值较高的物种, 其他物种信息详见附录 3。
The table only lists the species with higher importance values, other species information is listed in Appendix 3.

图2 阴山山脉天然侧柏林各群丛径级结构及株高特征
Fig. 2 Characteristics of diameter classes and plant height of six associations of the natural *Platycladus orientalis* forests in Yin Mountains

小花鬼针草(*Bidens parviflora*)、苣荬蒿(*Artemisia anethoides*)、猪毛蒿等为主, 阳坡以狗尾草、三芒草等为主。

IV 侧柏-戈壁针茅+小红菊群丛(Ass. *Platycladus orientalis*-*Stipa tianschanica* var. *gobica*+*Chrysanthemum chanetii*)主要是阴坡侧柏林土层遭受破坏后的一个生态变体, 分布在石质化程度较高的阴坡, 样方数据(附录3-样地5)显示乔木层侧柏郁闭度30.0%, 平均株高4.2 m, 平均胸径9.6 cm。

从径级结构分析, 侧柏整体呈正态分布, 且大多集中在径阶12 cm以下, 胸径大于12 cm的侧柏较少, 且在径阶18 cm和22 cm出现断层。平均株高随侧柏胸径的增大整体呈增加的趋势, 与线性趋势线拟合较好(图2IV), 这说明该类型侧柏长势不均匀, 受到的扰动较大。灌木层完全消失。草本层盖度在35.0-40.0%, 优势种为嗜石性强的戈壁针茅和中生植物小红菊(*Chrysanthemum chanetii*), 伴生种有阿尔泰狗娃花(*Aster altaicus*)、抱茎苦荬菜、冰草

(*Agropyron cristatum*)、糙隐子草、狗尾草、三芒草、远志等。

V 侧柏-白羊草+戈壁针茅群丛(*Ass. Platycladus orientalis-Bothriochloa ischaemum+Stipa tianschanica* var. *gobica*)主要分布在土石相间的干热阳坡,样方数据(附录3-样地6)显示乔木层盖度36.0%,侧柏平均株高3.0 m,平均胸径7.8 cm,径级结构分布较为整齐,呈正态分布,峰值出现在径阶6 cm处。该群丛类型普遍缺少大径阶个体,相较于其他群丛属于较为年轻的类型,平均株高随着胸径的增大表现出较为明显的增加,且线性趋势线拟合较为理想(图2V)。群落中伴生有蒙古扁桃和半灌木白莲蒿,但均不能形成层片;草本层盖度在10.0–15.0%,优势种为白羊草和戈壁针茅,伴生种为丛生隐子草、远志、画眉草(*Eragrostis pilosa*)、地锦(*Euphorbia humifusa*)、中华苦荬菜(*Ixeris chinensis*)、三芒草等。该群丛类型受到进一步干扰,白羊草也会逐渐消失,被戈壁针茅和一、二年生的草本植物取代。

VI 侧柏-柄状藁草群丛(*Ass. Platycladus orientalis-Carex pediformis*)主要分布在覆土较好的阴坡、半阴坡,甚至能出现在人为扰动较小、立地条件较好的半阳坡,是该区域分布较多的一个类型。样方数据(附录3-样地7、8、9)显示乔木层侧柏长势与坡向的关系较为明显:随着坡向越向阴转变,侧柏的盖度、平均株高和平均胸径等各项指数越高,长势越好。综合3个不同样地的样方数据,该类型侧柏径级结构呈左偏态分布,属于典型的生长类型(图2-VI),在径阶8 cm处达到峰值,整体以中小径阶个体为主,群落中也可见径阶20 cm以上侧柏个体。该群丛灌木对立地环境条件反应最为敏感,半阳坡出现的灌木主要为旱榆,随着坡向向阴,在半阴坡和阴坡,旱榆逐渐被耧斗叶绣线菊和长梗扁桃代替,另外偶尔也能见到黄刺玫、三裂绣线菊、准噶尔栒子、小叶忍冬、土庄绣线菊等。由于侧柏及灌木不同程度的遮荫,草本层盖度在10.0–40.0%,主要以中生的柄状藁草为优势种,其伴生种在半阳坡且覆土较少的地段为戈壁针茅、甘青针茅(*Stipa przewalskyi*)、朝阳芨芨草、细叶韭(*Allium tenuissimum*)、猪毛蒿等,在较湿的半阴坡及阴坡逐渐被小红菊、灰叶黄耆(*Astragalus discolor*)、北芸香(*Haplophyllum dauricum*)、糙隐子草、小花鬼针草等代替,另外牛尾蒿(*Artemisia dubia*)在半阳坡的群

丛草本层占有一定比例。该群丛是一个中间类型,干扰减轻后可以发育成较为完整的侧柏群落,干扰加重后,侧柏林将被更耐旱、喜光的旱榆疏林代替。

2.4 侧柏林空间分布的演替序列

阴山山脉侧柏林主要分布在海拔1,200–1,500 m的沟谷及山坡,且主要集中在乌拉山和大青山西段,往东在同海拔段大青山南坡主要为山地针茅草原,以及黄刺玫、长梗扁桃灌丛等类型,往西同海拔段狼山被旱榆疏林和蒙古扁桃灌丛所代替。而且该海拔段侧柏林随着海拔、坡向以及干扰程度的不同也出现了不同的空间演替序列(图3)。低海拔地段侧柏林受到基带典型草原的影响,沟谷发育较好的类型为侧柏-长芒草群丛,在土层较厚、干扰较轻的阴坡、半阴坡逐渐转变为侧柏-缘毛披碱草+朝阳芨芨草群丛,而较干的阳坡逐渐发育为侧柏-白羊草+戈壁针茅群丛。随着生境受到的干扰增强,尤其是土层破坏、石质化程度加剧,草本层优势种变为嗜石性强的戈壁针茅或一、二年生草本,严重干扰的地段侧柏也消失殆尽,群落变为嗜石性强的戈壁针茅群落或仅为一、二年生草本群落。随着海拔的逐渐升高,温度逐渐降低,在海拔大于1,500 m处,石质化程度较强的地段侧柏林逐渐被杜松疏林代替,在土壤条件好的地段被油松林代替。在海拔1,200 m以下,侧柏林被耐旱的蒙古扁桃灌丛、黄刺玫灌丛和短花针茅草原、小针茅草原或长芒草草原所替代。

3 讨论

侧柏是东亚暖温带分布较广的一个针叶乔木树种。该分布区自然条件较好的地段由于人类活动频繁,多数原始林已遭破坏或不复存在,目前天然侧柏林主要分布在环境条件较差、土层贫瘠或岩石裸露的山坡,普遍具有林分密度小、郁闭度低、平均胸径小等特征。但不同区域侧柏林的种类组成和区系特征不尽相同:从物种多样性来看,阴山侧柏群落中所含物种数较山西吕梁山(39种)(郭东罡, 2014)和云南德钦(84种)(黄礼梅等, 2007)侧柏林丰富,这可能与阴山处于植物地理过渡区域有很大关系;从植物种的区系地理成分组成来看,虽然均以温带成分比例最大,东亚成分次之,但与山西吕梁山和云南德钦的侧柏林相比,阴山的侧柏林缺少了热带分布成分,而亚洲中部成分(主要是荒漠和草原区系)显著增加,占11.5%。所以,群落种类具有明

图3 阴山山脉天然侧柏林空间分布的演替序列。DH: 扰动的生境; SH: 稳定的生境; AI: 海拔升高; AD: 海拔降低; EC: 覆土; SC: 石质化。

Fig. 3 The special distribution succession series of the natural *Platycladus orientalis* forests in Yin Mountains. DH, Disturbed habitat; SH, Stable habitat; AI, Altitudes increased; AD, Altitudes decreased; EC, Earth cover; SC, Stone cover.

显的地带性烙印。

发育较好的侧柏林外貌整体呈现出乔木层和草本层的垂直结构, 灌木虽然盖度较低不能独立成层, 但是其对生境条件的反应较为敏感, 相信随着人为扰动的减少以及生境条件的好转, 灌木应该能够发育起来, 最终形成乔-灌-草完整的群落垂直结构, 我们在调查中已经发现立地条件较好的生境有最大约9.0%的灌木层盖度的群落出现。另外从群落物种组成角度分析, 乔木层侧柏基本都以绝对优势形成纯林, 但灌木层和草本层的物种差别较大, 阴山侧柏林与山西省(郭东罡, 2014)、陕西省(雷明德, 2011)、云南德钦(黄礼梅等, 2007)侧柏群丛类型在灌木层与草本层物种组成上差异较大, 且分布越靠北的侧柏林, 灌木层发育越不明显, 草本层均易遭到破坏而消失或发生明显的改变, 是群落中对外界干扰较敏感的层片, 具有指示作用。

阴山山脉侧柏林种群的径级结构基本呈正态分布, 属典型的生长型种群, 主要以中、小径级个

体为主, 保护较好的侧柏群丛中偶见大径级个体。然而胸径小于4 cm的个体也相对较少, 这会影响侧柏更新的潜力。分析其原因, 一方面与侧柏受到的人为干扰有极大的关系。调查中我们发现在过度放牧、樵采的地段, 侧柏群落结构不完整, 缺少灌木层或灌木层整体盖度较小, 更谈不上侧柏幼苗的生长。另一方面与侧柏的生殖方式有关, 生长在坡度较大或地表覆土较少的坡面的侧柏多以无性繁殖为主, 即侧柏从基部分支, 形成许多分叉, 以灌丛化的形式生长, 这可能也是侧柏适应该地区干旱环境的一种生存策略。另外, 不同群丛径级结构比例也不一样, 这是因为处在不同演替阶段的侧柏林径级结构差异较大, 通常受到人为干扰较大的群丛中普遍缺少小径级个体, 这对于群落更新是不利的, 应加强对这类群丛的保护和人工抚育。

侧柏具有适贫瘠、耐干旱的特性, 可以分布在其他树种难以生长的区域, 发挥着保土、固坡、涵养水源以及改善生境条件等重要作用。阴山山脉南

坡坡度较大,坡面覆土较少且较为干旱,我们不建议将该区域的侧柏林作为用材林,应作为生态公益林、种源林。

由于该区侧柏林群落立地条件较差,给野外数据采集带来一定的困难,文中部分群丛仅依据一个样地的数据确定,可能会存在偏差。将来随着样方数据的积累,我们将进一步完善。

参考文献

- Fang JY, Wang XP, Shen ZH, Tang ZY, He JS, Yu D, Jiang Y, Wang ZH, Zheng CY, Zhu JL, Guo ZD (2009) Methods and protocols for plant community inventory. *Biodiversity Science*, 17, 533–548. (in Chinese with English abstract) [方精云, 王襄平, 沈泽昊, 唐志尧, 贺金生, 于丹, 江源, 王志恒, 郑成洋, 朱江玲, 郭兆迪 (2009) 植物群落清查的主要内容、方法和技术规范. 生物多样性, 17, 533–548.]
- Feng L (1989) Inner Mongolia Forest. China Forestry Publishing House, Beijing. (in Chinese) [冯林 (1989) 内蒙古森林. 中国林业出版社, 北京.]
- Guo DG (2014) Shanxi Vegetation Chi: Coniferous Forest. Science Press, Beijing. (in Chinese) [郭东盟 (2014) 山西植被志: 针叶林卷. 科学出版社, 北京.]
- Hu EC, Wang XJ, Zhang WJ, Hai L, Zhang L, Zhang SL, Xu PY (2013) Age structure and point pattern of *Betula platyphylla* in Wulashan Natural Reserve of Inner Mongolia. *Acta Ecologica Sinica*, 33, 2867–2876. (in Chinese with English abstract) [胡尔查, 王晓江, 张文军, 海龙, 张雷, 张胜利, 徐鹏雁 (2013) 乌拉山自然保护区白桦种群的年龄结构和点格局分析. 生态学报, 33, 2867–2876.]
- Huang LM, Wang J, Sun HY, Du F, Yang YM (2007) A study on structure and flora of natural *Platycladus orientalis* community in Deqin. *Journal of West China Forestry Science*, 36(1), 22–29. (in Chinese with English abstract) [黄礼梅, 王娟, 孙鸿雁, 杜凡, 杨宇明 (2007) 德钦天然侧柏群落结构与植物区系的研究. 西部林业科学, 36(1), 22–29.]
- Lei MD (2011) Shaanxi Vegetation Chi. Xi'an Map Publishing House, Xi'an. (in Chinese) [雷明德 (2011) 陕西省植被志. 西安地图出版社, 西安.]
- Meng XY (2006) Forest Mensuration, 3rd edn. China Forestry Publishing House, Beijing. (in Chinese) [孟宪宇 (2006) 测树学(第三版). 中国林业出版社, 北京.]
- Wu ZY (1980) Vegetation of China. Science Press, Beijing. (in Chinese) [吴征镒 (1980) 中国植被. 科学出版社, 北京.]
- Wu ZY, Zhou ZK, Sun H, Li DZ, Peng H (2006) The Areal-Types of Seed Plants and Their Origin and Differentiation. Yunnan Publishing Group Corporation Yunnan Science & Technology Press, Kunming. (in Chinese) [吴征镒, 周浙昆, 孙航, 李德铎, 彭华 (2006) 种子植物分布区类型及其起源和分化. 云南出版集团公司云南科技出版社, 昆明.]
- Yue M (1998) Division of successional phase in the *Platycladus orientalis* forest in the south Loess Plateau of the northern Shaanxi Province. *Acta Phytocologica Sinica*, 22, 327–335. (in Chinese with English abstract) [岳明 (1998) 陕西南部侧柏林演替时期的划分及其特征. 植物生态学报, 22, 327–335.]
- Zhao YZ (2012) Classification and Its Floristic Ecological Geographic Distributions of Vascular Plants in Inner Mongolia. Inner Mongolia University Press, Hohhot. (in Chinese) [赵一之 (2012) 内蒙古维管植物分类及其区系生态地理分布. 内蒙古大学出版社, 呼和浩特.]

(责任编辑: 王国宏 责任编辑: 黄祥忠)

附录 Supplementary Material

附录1 阴山山脉天然侧柏林维管植物类群的组成

Appendix 1 Composition of vascular plants of the natural *Platycladus orientalis* forests in Yin Mountains
<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2017306-1.pdf>

附录2 阴山山脉天然侧柏林维管植物种的分布区类型

Appendix 2 Species areal-types of vascular plants of the natural *Platycladus orientalis* forests in Yin Mountains
<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2017306-2.pdf>

附录3 阴山山脉天然侧柏林9个样地的调查数据

Appendix 3 Investigation data of nine plots of the natural *Platycladus orientalis* forests in Yin Mountains
<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2017306-3.xls>

附录 1 阴山山脉天然侧柏林维管植物类群的组成
Appendix 1 Composition of vascular plants of the natural *Platycladus orientalis* forests in Yin Mountains

	属数	占总属数百分比	种数	占总种数百分比
	No. of genera	% of total genera (%)	No. of species	% of total species (%)
禾本科 Gramineae	16	22.9	20	20.8
菊科 Compositae	10	14.3	17	17.7
蔷薇科 Rosaceae	7	10.0	11	11.5
豆科 Leguminosae	2	2.9	6	6.3
百合科 Liliaceae	3	4.3	4	4.2
藜科 Chenopodiaceae	2	2.9	3	3.1
石竹科 Caryophyllaceae	2	2.9	2	2.1
柏科 Cupressaceae	2	2.9	2	2.1
唇形科 Labiatae	2	2.9	2	2.1
玄参科 Scrophulariaceae	2	2.9	2	2.1
紫草科 Boraginaceae	2	2.9	2	2.1
景天科 Crassulaceae	2	2.9	2	2.1
卷柏科 Selaginellaceae	1	1.4	2	2.1
莎草科 Cyperaceae	1	1.4	2	2.1
鼠李科 Rhamnaceae	1	1.4	2	2.1
榆科 Ulmaceae	1	1.4	2	2.1
远志科 Polygalaceae	1	1.4	2	2.1
败酱科 Valerianaceae	1	1.4	1	1.0
大戟科 Euphorbiaceae	1	1.4	1	1.0
蒺藜科 Zygophyllaceae	1	1.4	1	1.0
堇菜科 Violaceae	1	1.4	1	1.0
马鞭草科 Verbenaceae	1	1.4	1	1.0
毛茛科 Ranunculaceae	1	1.4	1	1.0
茜草科 Rubiaceae	1	1.4	1	1.0
忍冬科 Caprifoliaceae	1	1.4	1	1.0
瑞香科 Thymelaeaceae	1	1.4	1	1.0
伞形科 Umbelliferae	1	1.4	1	1.0
荨麻科 Urticaceae	1	1.4	1	1.0
鸢尾科 Iridaceae	1	1.4	1	1.0
报春花科 Primulaceae	1	1.4	1	1.0
总计 Total	70	100.0	96	100.0

附录 2 阴山山脉天然侧柏林维管植物种的分布区类型

Appendix 2 Species areal-types of vascular plants of the natural *Platycladus orientalis* forests in Yin Mountains

分布型及亚型 Types and subtypes	种数 No. of species	占总种数百分比 % of all species (%)
1 世界分布 Cosmopolitan	3	3.1
2 泛温带分布 Pan-Temperate	3	3.1
3 泛北极分布 Circumarctic	7	7.3
4 古北极分布 Pan-North Pole	9	9.4
5 东古北极分布 Eastern Pan-North Pole	26	27.1
5-1 东西伯利亚-东亚分布 Eastern Siberia-Eastern Asia	1	1.0
5-2 华北-东蒙古分布 Northern China-Eastern Mongolian	1	1.0
5-2-1 华北-蒙古分布 Northern China-Mongolian	4	4.2
5-3 西伯利亚-东亚分布 Siberia-Eastern Asia	3	3.1
6.东亚分布 Eastern Asia	11	11.5
6-1 东蒙古-华北-满洲分布 Eastern Mongolian- Northern China-Manchuria	1	1.0
6-2 东亚北部分布 Northern Eastern Asia	2	2.1
6-2-1 华北-满洲分布 Northern China-Manchuria	1	1.0
6-3 华北分布 Northern China	8	8.3
6-3-1 华北西部山地分布 Western Mountain Northern China	1	1.0
6-4 华北-唐古特分布 Northern China-Tangut	1	1.0
6-5 华北-兴安分布 Northern China-Dahuricia	1	1.0
6-6 华北-横断山脉分布 Northern China-Hengduan Mountains	2	2.1
7 亚州中部分布 Center of Asia	2	2.1
7-1 戈壁-蒙古分布 Gobi-Mongolian	2	2.1
7-2 阿拉善分布 Alxa	2	2.1
7-3 戈壁分布 Gobi	1	1.0
7-4 蒙古高原分布 Mongolian Plateau	2	2.1
7-5 亚州中部山地分布 Mountains Center of Asia	1	1.0
8 中亚-亚洲中部分布 Central Asia-Center of Asia		
8-1 黑海-哈萨克斯坦-蒙古分布 Black sea-Kazakhstan-Mongolian	1	1.0
总计 Total	96	100.0