

辽东山区古石河森林群落结构及演替趋势分析

伏捷^{1a,1b}, 张华^{1a,①}, 何红^{1a}, 吕蕊², 王颖², 祝业平²

(1. 辽宁师范大学: a. 城市与环境学院, b. 海洋经济与可持续发展研究中心, 辽宁 大连 116029;

2. 辽宁老秃顶子国家级自然保护区管理局, 辽宁 桓仁 117218)

摘要: 基于辽东山区古石河森林群落 26 个样方的调查数据, 对该区域落叶阔叶林、针阔混交林和暗针叶林内乔木层种类的胸径(DBH)和树高(H)的分布状况进行了统计和分析, 并采用径级代替龄级的方法对 3 种林型森林群落内乔木种群的径级结构进行了分析; 在此基础上探讨了辽东山区古石河森林群落的演替趋势。结果表明: 落叶阔叶林乔木层的小径级($5.0\text{ cm} \leq \text{DBH} < 15.0\text{ cm}$)和中径级($15.0\text{ cm} \leq \text{DBH} < 45.0\text{ cm}$)植株所占比例分别为 48.3%和 49.9%, 而针阔混交林和暗针叶林乔木层的中径级植株所占比例分别为 61.9%和 69.8%, 3 种林型森林群落内乔木层的大径级($\text{DBH} \geq 45.0\text{ cm}$)植株所占比例均低于 5.0%。落叶阔叶林、针阔混交林和暗针叶林乔木层的高大($8\text{ m} \leq H < 24\text{ m}$)植株所占比例分别为 67.1%、83.7%和 91.9%, 较高($4\text{ m} \leq H < 8\text{ m}$)植株所占比例分别为 29.2%、12.7%和 7.4%, 而矮小($H < 4\text{ m}$)和超高($H \geq 24\text{ m}$)植株所占比例均低于 3.0%。从径级结构看, 落叶阔叶林内乔木种类有 30 种(包括亚种和变种, 下同), 包括扩展种 15 种、隐退种 9 种、稳定侵入种 5 种和随机侵入种 1 种; 针阔混交林内乔木种类有 27 种, 包括扩展种 12 种、隐退种 13 种、稳定侵入种 1 种和随机侵入种 1 种; 暗针叶林乔木种类有 19 种, 包括扩展种 6 种、隐退种 10 种和稳定侵入种 3 种, 但无随机侵入种。研究结果显示: 现阶段, 辽东山区古石河森林群落处于相对稳定的状态, 且 3 种林型森林群落均处于向顶级群落演替的后期阶段, 能够对该地区的古石河冰缘地貌环境起到很好的稳定和整合作用。

关键词: 辽东山区; 古石河; 森林群落; 乔木种类; 径级结构; 演替趋势

中图分类号: Q948.15⁺4; S718.54⁺1 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2019)02-0001-09

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2019.02.01

Analyses on structure and succession trend of forest communities in paleo-stone stream of mountainous area of Eastern Liaoning

FU Jie^{1a,1b}, ZHANG Hua^{1a,①}, HE Hong^{1a}, LYU Rui², WANG Ying², ZHU Yeping² (1. Liaoning Normal University: a. College of Urban and Environmental Science, b. Marine Economics and Sustainable Development Research Center, Dalian 116029, China; 2. Administration Bureau of Laotudingzi National Nature Reserve of Liaoning Province, Huanren 117218, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2019, 28(2): 1-9

Abstract: Based on survey data of 26 plots of forest communities in paleo-stone stream of mountainous area of Eastern Liaoning, statistics and analysis on distribution status of diameter at breast height (DBH) and height (H) of species in arbor layer of deciduous broad-leaved forest, coniferous and broad-leaved mixed forest and dark coniferous forest in this area was carried out, and diameter class structure of tree populations in three forest types of forest communities was analyzed by method of diameter class instead of age class. On the basis, succession trend of forest communities in paleo-stone stream of mountainous area of Eastern Liaoning was explored. The results show that percentages of small diameter class ($5.0\text{ cm} \leq \text{DBH} < 15.0\text{ cm}$) and medium diameter class ($15.0\text{ cm} \leq \text{DBH} < 45.0\text{ cm}$) plants in arbor layer of deciduous broad-leaved forest are 48.3% and 49.9%, respectively, while those of medium diameter class plants in coniferous and broad-leaved mixed forest and dark coniferous forest are 61.9% and 69.8%,

收稿日期: 2018-08-21

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(41271064)

作者简介: 伏捷(1985—), 男, 甘肃静宁人, 博士研究生, 助理研究员, 主要从事森林生态水文研究。

①通信作者 E-mail: zhanghua0323@sina.com

respectively, and those of large diameter class ($DBH \geq 45.0$ cm) plants in arbor layer of three forest types of forest communities are lower than 5.0%. Percentages of higher ($8\text{ m} \leq H < 24\text{ m}$) plants in arbor layer of deciduous broad-leaved forest, coniferous and broad-leaved mixed forest and dark coniferous forest are 67.1%, 83.7% and 91.9%, respectively, those of high ($4\text{ m} \leq H < 8\text{ m}$) plants are 29.2%, 12.7% and 7.4%, respectively, while those of dwarf ($H < 4\text{ m}$) and super high ($H \geq 24\text{ m}$) plants are lower than 3.0%. From the view of diameter class structure, there are 30 species (containing subspecies and varieties, the same below) of trees in deciduous broad-leaved forest, containing 15 expansive species, 9 seclusive species, 5 stable invasive species and 1 random invasive species. There are 27 species of trees in coniferous and broad-leaved mixed forest, containing 12 expansive species, 13 seclusive species, 1 stable invasive species and 1 random invasive species. There are 19 species of trees in dark coniferous forest, containing 6 expansive species, 10 seclusive species and 3 stable invasive species, but no random invasive species. It is suggested that at present, the forest communities in paleo-stone stream of mountainous area of Eastern Liaoning are in a relatively stable state, and three forest types of forest communities are in the late stage of succession toward the climax community, and they can play good roles in stabilization and integration to periglacial geomorphic environment of paleo-stone stream in this area.

Key words: mountainous area of Eastern Liaoning; paleo-stone stream; forest community; tree species; diameter class structure; succession trend

植物的群落演替 (community succession) 是指群落组成物种随时间推移不断消长变化和侵入退出的渐变过程^[1], 贯穿于整个群落发展的全过程^[2], 属于群落的动态特征之一。植物群落演替的发展趋势与群落内物种的组成及动态变化密切相关^{[3]298-300, [4]}, 且这种动态变化受到群落内每个物种的生理生态学特性^[5]、种间相互关系^[6-7]及物种与环境相互作用^[5, 8-10]的影响。植物群落演替规律能够反映区域生物-环境复合体在结构和功能上的变化趋势^{[3]298}, 因此, 研究自然状态下植物群落的演替规律和发展趋势对于评价区域生物-环境复合体的稳定性以及指导退化生态系统的恢复和重建具有重要意义^[11-13]。

森林是重要的植物群落之一, 明确森林群落的演替规律对于植物群落生态系统研究具有重要价值^[12-13]。中国的森林资源相对较少, 且地区差异较大, 2013年, 全国森林面积为 2.08×10^8 hm^2 , 全国森林覆盖率为 21.63%^[14]。东北地区是国内森林资源的主要分布区之一, 辽东山区属于长白山系龙岗支脉向西南方向的延伸部分, 基本为以燕山期花岗岩、石英岩和灰岩为基岩的石质山地^[15]。受第四纪末次冰期气候影响, 辽东山区的沟谷洼地残留有典型的古石河 (paleo-stone stream) 等冰缘地貌类型, 面积约占全区林业用地面积的 15%^[16], 俗称“跳石塘”或“乱石窖”, 主要依靠植被生态服务功能维持其冰缘地貌环境的稳定性。相关研究结果^[15-18]表明: 辽东山区的古石河地貌具有石多土少、易于活动的特点, 森林群

落的演替进程和自然更新速度极慢, 被破坏后很难恢复, 为山地地质灾害的高发地段。探明辽东山区古石河森林群落的演替规律及发展趋势对于评价该区域森林群落的稳定性和古石河冰缘地貌环境的稳定性具有重要价值。

基于此, 以辽东山区典型古石河上的森林群落为研究对象, 根据野外调查结果, 分析该区域落叶阔叶林、针阔混交林和暗针叶林内乔木层种类的胸径和树高的分布状况, 并采用径级代替龄级的方法划分 3 种林型森林群落内各乔木种群的径级结构, 在此基础上探讨辽东山区古石河森林群落的演替趋势, 以期了解辽东山区古石河森林群落和地貌环境的稳定性, 为人为促进辽东山区古石河特殊立地条件森林群落的正向演替提供科学依据。

1 研究地概况和研究方法

1.1 研究地概况

辽东山区位于辽宁省东部, 具体地理位置为北纬 $40^{\circ}00'$ 至 $43^{\circ}08'$ 、东经 $122^{\circ}52'$ 至 $125^{\circ}46'$, 最高峰为老秃顶子 (海拔 1 367.3 m, 山体相对高差约 800 m), 在老秃顶子东麓场子沟内残留有典型的古石河冰缘地貌 (海拔 690~1 200 m), 人为干扰极少。受沟谷限制, 该古石河规模呈狭长的带状, 长约 1.5 km, 宽十余米至数十米, 下垫面为厚度 5~30 m 的花岗岩砾石, 间隙被少量土壤覆盖胶结, 呈现石多土少、阴暗冷

湿的立地特征^[15-17]。该区域植被具有明显的垂直分布规律,植物区系属于长白植物区系的西南小区,兼有华北植物区系成分渗入。

1.2 研究方法

1.2.1 样方设置和指标检测 分别于2013年和2014年的6月至7月,采用样方法在老秃顶子东麓场子沟古石河内沿海拔分布设置样方,每个样方的面积均为20 m×30 m。依据针叶和落叶阔叶树种的株数在乔木层植株总数中所占比例将各样方林型分成

落叶阔叶林(落叶阔叶树种株数所占比例在90%以上)、针阔混交林(落叶阔叶树种株数所占比例在90%以下且针叶树种株数所占比例在50%以下)和暗针叶林(针叶树种株数所占比例在50%以上)。其中,落叶阔叶林有P1、P2、P3、P5、P6、P7、P8、P9、P10和P11共10个样方,针阔混交林有P4、P12、P13、P15、P16、P17和P20共7个样方,暗针叶林有P14、P18、P19、P21、P22、P23、P24、P25和P26共9个样方,各样方的基本信息见表1。

表1 供试辽东山区古石河不同林型森林群落26个样方的基本信息

Table 1 Basic informations of 26 plots tested of different forest types of forest communities in paleo-stone stream of mountainous area of Eastern Liaoning

样方编号 No. of plot	纬度 Longitude	经度 Latitude	海拔/m Altitude	坡度/(°) Slope	坡向/(°) Slope aspect	土壤类型 ¹⁾ Soil type ¹⁾	土层厚度/cm Soil thickness
P1	N41°19'52.3"	E124°54'37.3"	700	11	29	BS	15-20
P2	N41°19'51.6"	E124°54'38.3"	701	8	10	BS	5-40
P3	N41°19'50.2"	E124°54'41.0"	715	34	353	BS	30-40
P4	N41°19'51.4"	E124°54'33.2"	719	5	78	BS	5-20
P5	N41°19'53.2"	E124°54'32.9"	722	7	114	BS	5-12
P6	N41°19'50.0"	E124°54'40.4"	731	28	46	BS	5-40
P7	N41°19'54.0"	E124°54'28.8"	742	16	123	BS	5-17
P8	N41°19'49.4"	E124°54'36.8"	745	19	66	BS	5-40
P9	N41°19'45.6"	E124°54'35.5"	747	24	359	BS	40-60
P10	N41°19'46.7"	E124°54'29.6"	753	18	6	BS	20-30
P11	N41°19'44.9"	E124°54'36.3"	772	21	9	BS	5-40
P12	N41°19'46.0"	E124°54'26.0"	775	14	28	BS	5-30
P13	N41°19'42.1"	E124°54'34.7"	789	27	8	BS	2-20
P14	N41°19'47.3"	E124°54'19.3"	810	21	135	BS	5-30
P15	N41°19'40.2"	E124°54'27.6"	815	28	21	BS	5-40
P16	N41°19'41.9"	E124°54'15.7"	829	14	90	BS	5-10
P17	N41°19'42.1"	E124°54'25.2"	831	39	223	BS	2-20
P18	N41°19'40.7"	E124°54'11.8"	862	20	44	BS	6-7
P19	N41°19'39.3"	E124°54'05.2"	899	14	37	MDBS	5-15
P20	N41°19'37.2"	E124°54'01.0"	934	24	353	MDBS	5-15
P21	N41°19'33.6"	E124°54'06.5"	953	21	33	MDBS	2-40
P22	N41°19'33.9"	E124°54'18.2"	955	37	28	MDBS	3-40
P23	N41°19'33.5"	E124°54'14.4"	971	29	207	MDBS	5-50
P24	N41°19'30.7"	E124°53'44.0"	1 091	34	4	MDBS	10-30
P25	N41°19'30.7"	E124°53'40.1"	1 102	23	34	MDBS	5-30
P26	N41°19'31.0"	E124°53'34.6"	1 122	12	57	MDBS	5-20

¹⁾ BS: 棕壤 Brown soil; MDBS: 山地暗棕壤 Mountain dark brown soil.

参考方精云等^[19]的方法,对每个样方内乔木层中胸径大于等于5.0 cm的所有木本植物进行每木检测,逐一记录每株木本植物的种类、树高、胸径和冠幅。在每个样方的四角和中心分别设置4~5个面积4 m×4 m的小样方,记录灌木层(即更新层)中胸径小于5.0 cm的乔木幼苗和幼树的种类和株数(1 hm²

范围内的株数)。

1.2.2 乔木种群径级结构及群落演替趋势分析 采用径级代替龄级的方法,参照木本植物径级结构的划分标准^[12,20],根据胸径(DBH),将各乔木种群均划分为4个等级:Ⅰ级, DBH<5.0 cm;Ⅱ级, 5.0 cm≤DBH≤7.5 cm;Ⅲ级, 7.5 cm<DBH≤22.5 cm;Ⅳ级,

DBH>22.5 cm。将 I 级和 II 级株数总和大于 III 级或 IV 级株数且各径级株数基本呈连续递减分布的种类视为扩展种;将 I 级和 II 级株数总和小于 III 级或 IV 级株数且各径级株数基本呈连续递增分布的种类视为隐退种;将 I 级和 II 级株数较多且 I 级株数大于 II 级株数并无 III 级和 IV 级个体的种类视为稳定侵入种;将 I 级和 II 级株数很少(1 hm² 范围内 2 个径级株数总和小于 20)或单株出现且无 III 级和 IV 级个体的种类视为随机侵入种。根据各乔木种群的径级结构分析

不同林型森林群落的演替趋势。

2 结果和分析

2.1 不同林型森林群落乔木层种类胸径和树高的分布状况

辽东山区古石河不同林型森林群落乔木层种类胸径的分布状况见表 2,而其乔木层种类树高的分布状况见表 3。

表 2 辽东山区古石河不同林型森林群落乔木层种类胸径 (DBH) 的分布状况¹⁾

Table 2 Distribution status of diameter at breast height (DBH) of species in arbor layer of different forest types of forest communities in paleo-stone stream of mountainous area of Eastern Liaoning¹⁾

DBH/cm	落叶阔叶林 Deciduous broad-leaved forest		针阔混交林 Coniferous and broad-leaved mixed forest		暗针叶林 Dark coniferous forest	
	N	P/%	N	P/%	N	P/%
5.0≤DBH<15.0	392	48.3	205	34.1	218	28.3
15.0≤DBH<25.0	162	19.9	169	28.2	269	34.8
25.0≤DBH<45.0	243	30.0	202	33.7	270	35.0
DBH≥45.0	15	1.8	24	4.0	15	1.9
总计 Total	812	100.0	600	100.0	772	100.0

¹⁾ N: 1 hm² 范围内的株数 Number of individuals in 1 hm² area; P: 比例 Percentage.

表 3 辽东山区古石河不同林型森林群落乔木层种类树高 (H) 的分布状况¹⁾

Table 3 Distribution status of height (H) of species in arbor layer of different forest types of forest communities in paleo-stone stream of mountainous area of Eastern Liaoning¹⁾

H/m	落叶阔叶林 Deciduous broad-leaved forest		针阔混交林 Coniferous and broad-leaved mixed forest		暗针叶林 Dark coniferous forest	
	N	P/%	N	P/%	N	P/%
H<4	8	1.0	10	1.6	6	0.7
4≤H<8	237	29.2	76	12.7	57	7.4
8≤H<24	545	67.1	502	83.7	709	91.9
H≥24	22	2.7	12	2.0	0	0.0
总计 Total	812	100.0	600	100.0	772	100.0

¹⁾ N: 1 hm² 范围内的株数 Number of individuals in 1 hm² area; P: 比例 Percentage.

2.1.1 胸径的分布状况 根据辽东山区古石河不同林型森林群落乔木层种类胸径 (DBH) 的分布状况 (表 2),落叶阔叶林和针阔混交林乔木层中 5.0 cm≤DBH<15.0 cm 的植株最多,25.0 cm≤DBH<45.0 cm 的植株次之,15.0 cm≤DBH<25.0 cm 的植株较少,DBH≥45.0 cm 的植株最少,其中,落叶阔叶林中各径级植株所占比例分别为 48.3%、30.0%、19.9% 和 1.8%,针阔混交林中各径级植株所占比例分别为 34.1%、33.7%、28.2% 和 4.0%;暗针叶林乔木层中 25.0 cm≤DBH<45.0 cm 的植株最多,15.0 cm≤

DBH<25.0 cm 的植株略少,5.0 cm≤DBH<15.0 cm 的植株较少,DBH≥45.0 cm 的植株最少,各径级植株所占比例分别为 35.0%、34.8%、28.3% 和 1.9%。总体来看,辽东山区古石河落叶阔叶林乔木层的小径级 (5.0 cm≤DBH<15.0 cm) 和中径级 (15.0 cm≤DBH<45.0 cm) 植株较多,所占比例分别为 48.3% 和 49.9%;而针阔混交林和暗针叶林乔木层的中径级植株较多,所占比例分别为 61.9% 和 69.8%,具有明显的优势,并存在一定量小径级植株;3 种林型森林群落乔木层的大径级植株均很少,所占比例均低

于5.0%。

2.1.2 树高的分布状况 根据辽东山区古石河不同林型森林群落乔木层种类树高(H)的分布状况(表3),落叶阔叶林、针阔混交林和暗针叶林乔木层中 $8\text{ m}\leq H<24\text{ m}$ 的植株占有绝对优势,所占比例分别为67.1%、83.7%和91.9%;3种林型森林群落乔木层中还有一定量 $4\text{ m}\leq H<8\text{ m}$ 的植株,所占比例分别为29.2%、12.7%和7.4%;3种林型森林群落乔木层中 $H<4\text{ m}$ 和 $H\geq 24\text{ m}$ 的植株均很少,所占比例均

低于3.0%。总体来看,辽东山区古石河3种林型森林群落乔木层中存在很多高大($8\text{ m}\leq H<24\text{ m}$)植株,并存在一定量较高($4\text{ m}\leq H<8\text{ m}$)植株,但缺少矮小($H<4\text{ m}$)和超高($H\geq 24\text{ m}$)植株。

2.2 不同林型森林群落内乔木种群的径级结构

辽东山区古石河落叶阔叶林、针阔混交林和暗针叶林内乔木种群径级结构的统计结果分别见表4、表5和表6。

2.2.1 落叶阔叶林内乔木种群的径级结构 根据辽

表4 辽东山区古石河落叶阔叶林内乔木种群径级结构的统计结果

Table 4 Statistical result of diameter class structure of tree populations in deciduous broad-leaved forest in paleo-stone stream of mountainous area of Eastern Liaoning

种类 ¹⁾ Species ¹⁾	各径级株数 ²⁾ Number of individuals of each diameter class ²⁾			
	DBH<5.0 cm	5.0 cm≤DBH≤7.5 cm	7.5 cm<DBH≤22.5 cm	DBH>22.5 cm
扩展种 Expansive species				
暴马丁香 <i>Syringa reticulata</i> subsp. <i>amurensis</i>	298	3	10	0
臭冷杉 <i>Abies nephrolepis</i>	32	0	2	2
大黄柳 <i>Salix raddeana</i>	0	5	3	0
红松 <i>Pinus koraiensis</i>	10	0	2	0
花楸 <i>Sorbus pohuashanensis</i>	43	2	2	2
大果榆 <i>Ulmus macrocarpa</i>	22	0	0	3
裂叶榆 <i>Ulmus laciniata</i>	63	12	12	5
蒙古栎 <i>Quercus mongolica</i>	447	0	17	75
千金榆 <i>Carpinus cordata</i>	522	57	44	0
簇毛枫 <i>Acer barbinerve</i>	0	7	3	0
青楷枫 <i>Acer tegmentosum</i>	95	3	5	0
五角枫 <i>Acer pictum</i> subsp. <i>mono</i>	85	20	47	28
元宝枫 <i>Acer truncatum</i>	43	0	3	0
紫花枫 <i>Acer pseudosieboldianum</i>	777	77	33	0
紫椴 <i>Tilia amurensis</i>	160	13	96	87
隐退种 Seclusive species				
硕桦 <i>Betula costata</i>	0	0	0	12
胡桃楸 <i>Juglans mandshurica</i>	0	0	2	20
黄檗 <i>Phellodendron amurense</i>	0	0	5	7
杉松 <i>Abies holophylla</i>	0	0	5	0
山荆子 <i>Malus baccata</i>	0	0	2	0
斑叶稠李 <i>Prunus maackii</i>	0	0	3	0
花曲柳 <i>Fraxinus chinensis</i> subsp. <i>rhyrachophylla</i>	0	0	3	7
水曲柳 <i>Fraxinus mandshurica</i>	0	0	8	47
小叶杨 <i>Populus simonii</i>	0	0	0	4
稳定侵入种 Stable invasive species				
水榆花楸 <i>Sorbus alnifolia</i>	43	2	0	0
长白鱼鳞云杉 <i>Picea jezoensis</i> var. <i>komarovii</i>	22	0	0	0
小楷枫 <i>Acer komarovii</i>	192	3	0	0
花楷枫 <i>Acer ukurunduense</i>	117	0	0	0
天女花 <i>Oyama sieboldii</i>	22	0	0	0
随机侵入种 Random invasive species				
深山樱 <i>Prunus maximowiczii</i>	10	2	0	0

¹⁾ 包括亚种和变种 Including subspecies and varieties.

²⁾ 1 hm² 范围内的株数 Number of individuals in 1 hm² area. DBH: 胸径 Diameter at breast height.

东山区古石河落叶阔叶林内乔木种群径级结构的统计结果(表4),落叶阔叶林内的乔木种类共有30种(包括亚种和变种,下同),包括扩展种15种、隐退种9种、稳定侵入种5种、随机侵入种1种,分别占该林型森林群落乔木总种数的50.0%、30.0%、16.7%和3.3%。扩展种有暴马丁香[*Syringa reticulata* subsp. *amurensis* (Rupr.) P. S. Green et M. C. Chang]、臭冷杉[*Abies nephrolepis* (Trautv. ex Maxim.) Maxim.]、大黄柳(*Salix raddeana* Laksch. ex Nasarow)、红松(*Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc.)、花楸[*Sorbus*

pohuashanensis (Hance) Hedl.]、大果榆(*Ulmus macrocarpa* Hance)、裂叶榆[*U. laciniata* (Trautv.) Mayr]、蒙古栎(*Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb.)、千金榆(*Carpinus cordata* Bl.)、簇毛枫(*Acer barbinerve* Maxim. ex Miq.)、青楷枫(*A. tegmentosum* Maxim.)、五角枫[*A. pictum* subsp. *mono* (Maxim.) H. Ohashi]、元宝枫(*A. truncatum* Bunge)、紫花枫[*A. pseudosieboldianum* (Pax) Komarov]和紫椴(*Tilia amurensis* Rupr.);并且,暴马丁香、蒙古栎、千金榆、紫花枫和紫椴胸径小于5 cm的植株数量较多,其更新

表5 辽东山区古石河针阔混交林内乔木种群径级结构的统计结果

Table 5 Statistical result of diameter class structure of tree populations in coniferous and broad-leaved mixed forest in paleo-stone stream of mountainous area of Eastern Liaoning

种类 ¹⁾ Species ¹⁾	各径级株数 ²⁾ Number of individuals of each diameter class ²⁾			
	DBH<5.0 cm	5.0 cm≤DBH≤7.5 cm	7.5 cm<DBH≤22.5 cm	DBH>22.5 cm
扩展种 Expansive species				
暴马丁香 <i>Syringa reticulata</i> subsp. <i>amurensis</i>	94	0	17	0
臭冷杉 <i>Abies nephrolepis</i>	344	2	49	41
红松 <i>Pinus koraiensis</i>	47	2	14	26
裂叶榆 <i>Ulmus laciniata</i>	63	2	17	19
千金榆 <i>Carpinus cordata</i>	0	7	5	0
深山樱 <i>Prunus maximowiczii</i>	0	2	2	0
簇毛枫 <i>Acer barbinerve</i>	203	7	24	0
花楷枫 <i>Acer ukurunduense</i>	16	7	7	0
青楷枫 <i>Acer tegmentosum</i>	63	0	10	0
五角枫 <i>Acer pictum</i> subsp. <i>mono</i>	31	0	17	19
小楷枫 <i>Acer komarovii</i>	344	0	7	0
紫花枫 <i>Acer pseudosieboldianum</i>	47	2	5	0
隐退种 Seclusive species				
胡桃楸 <i>Juglans mandshurica</i>	0	0	0	7
黄檗 <i>Phellodendron amurense</i>	0	0	2	5
蒙古栎 <i>Quercus mongolica</i>	0	2	2	2
杉松 <i>Abies holophylla</i>	0	0	10	19
斑叶稠李 <i>Prunus maackii</i>	0	0	2	0
水曲柳 <i>Fraxinus mandshurica</i>	0	0	2	24
花楸 <i>Sorbus pohuashanensis</i>	0	0	2	0
水榆花楸 <i>Sorbus alnifolia</i>	0	0	10	2
元宝枫 <i>Acer truncatum</i>	0	0	0	2
长白鱼鳞云杉 <i>Picea jezoensis</i> var. <i>komarovii</i>	0	0	12	7
硕桦 <i>Betula costata</i>	0	0	5	19
岳桦 <i>Betula ermanii</i>	0	0	14	10
紫椴 <i>Tilia amurensis</i>	0	10	56	48
稳定侵入种 Stable invasive species				
天女花 <i>Oyama sieboldii</i>	234	2	0	0
随机侵入种 Random invasive species				
灯台树 <i>Cornus controversa</i>	16	0	0	0

¹⁾ 包括亚种和变种 Including subspecies and varieties.

²⁾ 1 hm² 范围内的株数 Number of individuals in 1 hm² area. DBH: 胸径 Diameter at breast height.

策略基本为持久性幼苗等待型(persistent juveniles type)。隐退种有硕桦(*Betula costata* Trautv.)、胡桃楸(*Juglans mandshurica* Maxim.)、黄檗(*Phellodendron amurense* Rupr.)、杉松(*Abies holophylla* Maxim.)、山荆子[*Malus baccata* (Linn.) Borkh.]、斑叶稠李[*Padus maackii* (Rupr.) Kom.]、花曲柳[*Fraxinus chinensis* subsp. *rhynchophylla* (Hance) E. Murray]、水曲柳(*F. manschurica* Rupr.)和小叶杨(*Populus simonii* Carr.),这些种类多为阳性先锋树种(pioneer species),均在该林型森林群落形成的早期阶段侵入,并在群落形成的后期阶段需要依赖较大面积的林窗才能实现斑块状更新,其更新策略多为持久性种子库型(persistent seed bank type)。稳定侵入种有水榆花楸[*Sorbus alnifolia* (Sieb. et Zucc.) K. Koch]、长白鱼鳞云杉[*Picea jezoensis* var. *komarovii* (V. N. Vassil.) W. C. Cheng et L. K. Fu.]、小楷枫(*Acer komarovii* Pojark.)、花楷枫(*A. ukurunduense* Trautv. et C. A. Mey.)和天女花[*Oyama sieboldii* (K.

Koch) N. H. Xia et C. Y. Wu],这些种类基本为地带性植被的主要树种,胸径小于5 cm的植株数量较多,其更新策略为持久性幼苗等待型。随机侵入种仅有深山樱(*Prunus maximowiczii* Rupr.)1种,其更新策略为持久性幼苗等待型。

2.2.2 针阔混交林内乔木种群的径级结构 根据辽东山区古石河针阔混交林内乔木种群径级结构的统计结果(表5),针阔混交林内的乔木种类共有27种,包括扩展种12种、隐退种13种、稳定侵入种1种、随机侵入种1种,分别占该林型森林群落乔木总种数的44.4%、48.1%、3.7%和3.7%。扩展种有暴马丁香、臭冷杉、红松、裂叶榆、千金榆、深山樱、簇毛枫、花楷枫、青楷枫、五角枫、小楷枫和紫花枫;并且,臭冷杉、簇毛枫和小楷枫胸径小于5 cm的植株数量较多,其更新策略为持久性幼苗等待型。隐退种有胡桃楸、黄檗、蒙古栎、杉松、斑叶稠李、水曲柳、花楸、水榆花楸、元宝枫、长白鱼鳞云杉、硕桦、岳桦(*Betula ermanii* Cham.)和紫椴,这些种类多

表6 辽东山区古石河暗针叶林内乔木种群径级结构的统计结果

Table 6 Statistical result of diameter class structure of tree populations in dark coniferous forest in paleo-stone stream of mountainous area of Eastern Liaoning

种类 ¹⁾ Species ¹⁾	各径级株数 ²⁾ Number of individuals of each diameter class ²⁾			
	DBH<5.0 cm	5.0 cm≤DBH≤7.5 cm	7.5 cm<DBH≤22.5 cm	DBH>22.5 cm
扩展种 Expansive species				
臭冷杉 <i>Abies nephrolepis</i>	761	15	232	193
裂叶榆 <i>Ulmus laciniata</i>	11	2	11	9
簇毛枫 <i>Acer barbinerve</i>	357	17	28	4
花楷枫 <i>Acer ukurunduense</i>	500	0	4	0
青楷枫 <i>Acer tegmentosum</i>	131	2	4	0
小楷枫 <i>Acer komarovii</i>	226	9	2	0
隐退种 Seclusive species				
硕桦 <i>Betula costata</i>	0	0	2	13
红松 <i>Pinus koraiensis</i>	0	4	28	20
花楸 <i>Sorbus pohuashanensis</i>	0	0	4	0
蒙古栎 <i>Quercus mongolica</i>	0	0	2	2
五角枫 <i>Acer pictum</i> subsp. <i>mono</i>	0	0	4	11
杉松 <i>Abies holophylla</i>	0	0	6	6
深山樱 <i>Prunus maximowiczii</i>	0	0	6	0
长白鱼鳞云杉 <i>Picea jezoensis</i> var. <i>komarovii</i>	11	0	19	38
岳桦 <i>Betula ermanii</i>	0	0	9	30
紫椴 <i>Tilia amurensis</i>	0	4	13	17
稳定侵入种 Stable invasive species				
天女花 <i>Oyama sieboldii</i>	357	2	0	0
水榆花楸 <i>Sorbus alnifolia</i>	24	0	0	0
暴马丁香 <i>Syringa reticulata</i> subsp. <i>amurensis</i>	48	0	0	0

¹⁾ 包括亚种和变种 Including subspecies and varieties.

²⁾ 1 hm² 范围内的株数 Number of individuals in 1 hm² area. DBH: 胸径 Diameter at breast height.

为该林型森林群落早期阶段的阳性先锋树种,其更新策略以持久性种子库型为主。稳定侵入种仅有天女花1种,其更新策略为持久性幼苗等待型。随机侵入种仅有灯台树(*Cornus controversa* Hemsl.)1种,其更新策略为持久性幼苗等待型。

2.2.3 暗针叶林内乔木种群的径级结构 根据辽东山区古石河暗针叶林内乔木种群径级结构的统计结果(表6),暗针叶林内的乔木种类共有19种,包括扩展种6种、隐退种10种、稳定侵入种3种,分别占该林型森林群落乔木总种数的31.6%、52.6%和15.8%。扩展种有臭冷杉、裂叶榆、簇毛枫、花楷枫、青楷枫和小楷枫;并且,臭冷杉、簇毛枫、花楷枫、青楷枫和小楷枫胸径小于5 cm的植株数量较多,其更新策略均为持久性幼苗等待型。隐退种有硕桦、红松、花楸、蒙古栎、五角枫、杉松、深山樱、长白鱼鳞云杉、岳桦和紫椴,其中,红松、五角枫和深山樱的更新策略为持久性幼苗等待型,其余种类的更新策略以持久性种子库型为主。稳定侵入种有天女花、水榆花楸和暴马丁香,其更新策略以持久性种子库型为主。值得注意的是,在该林型森林群落内并没有发现随机侵入种。

3 讨论和结论

本研究结果显示:根据调查的辽东山区古石河落叶阔叶林、针阔混交林和暗针叶林内乔木层种的胸径(DBH)和树高(H),供试3种林型森林群落中 $5.0\text{ cm} \leq \text{DBH} < 45.0\text{ cm}$ 和 $4\text{ m} \leq H \leq 24\text{ m}$ 的乔木植株占有明显优势,而 $\text{DBH} > 45.0\text{ cm}$ 、 $H < 4\text{ m}$ 和 $H \geq 24\text{ m}$ 的乔木植株均很少,说明辽东山区古石河3种林型森林群落内的乔木种群多为稳定种群。辽东山区古石河3种林型森林群落乔木种群中扩展种所占比例为31.6%~50.0%,且大部分扩展种为群落的建群种、优势种或次优势种;隐退种所占比例为30.0%~52.6%,稳定侵入种所占比例为3.7%~16.7%,随机侵入种所占比例为0.0%~3.7%,说明现阶段,辽东山区古石河森林群落处于相对稳定的状态,且3种林型森林群落均处于向顶级群落演替的后期阶段,能够对该地区的古石河冰缘地貌环境起到很好的稳定和整合作用。

辽东山区地处温带大陆性季风湿润气候区,水平地带性植被为红松阔叶混交林,区内最高峰老秃顶子

具有明显的山地植被垂直带谱^{[21]36-68}。受洪涝灾害、泥石流和山啸等多种地质灾害及人为砍伐等因子的影响,辽东山区的原生植被已经被处于不同演替阶段的次生植被所替代^{[21]29,[22-23]}。20世纪60年代初期,董厚德等^[24]对辽东山区古石河冰缘地貌植被的演替规律进行了初步调查研究,发现调查区海拔700 m以上区域发育有香杨(*Populus koreana* Rehd.)-大白柳(*Salix maximowiczii* Kom.)林,海拔700 m以下区域发育有胡桃楸林,并推断这种立地条件下植被的演替过程应该是从有丰富泥沙物质填充的砾石裸地开始,经过薹草(*Carex* spp.)群落和星毛珍珠梅(*Sorbaria sorbifolia* var. *stellipila* Maxim.)灌丛群落,最终发育成顶级群落香杨-大白柳林或胡桃楸林;他们认为,该区域由红松、臭冷杉、长白鱼鳞云杉和杉松构成的针阔混交林是与辽东山区大气候背景相协调的地带性顶级群落,而香杨-大白柳林和胡桃楸林是与该区域洼地沟谷乱石窖小气候条件相协调的隐地带性顶级群落。本研究结果表明:辽东山区古石河海拔700~1122 m区域的森林类型及分布格局依然遵循老秃顶子山地植被的垂直分布规律,即随着海拔的升高和水热因子的梯度变化,依次出现落叶阔叶林、针阔混交林和暗针叶林;但作者在调查中未发现香杨和大白柳,却发现小叶杨、大黄柳和胡桃楸参与群落组成,且大黄柳为群落的扩展种,小叶杨和胡桃楸为群落的隐退种。

受山地气候、海拔及特殊古冰缘地貌环境的共同作用,辽东山区场子沟古石河上发育的森林群落在演替进程中均呈现出较复杂的生态过程和乔木种群结构。例如:现阶段,长白鱼鳞云杉、水榆花楸、天女花、暴马丁香和枫属(*Acer* Linn.)等既有地带性又有地域性特征的树种正在持续侵入辽东山区古石河内的森林群落;群落内的蒙古栎、千金榆、紫椴、紫花枫、臭冷杉和簇毛枫的植株数量正在不断扩大,而水曲柳、紫椴、岳桦和紫椴均拥有一定数量大径级的大树甚至老树,并且,随着群落的演替,这些树种在群落中的地位和作用将逐渐弱化,但未必完全消失。另外,红松在针阔混交林和暗针叶林种类组成中占有一定的优势地位^[25],且为落叶阔叶林和针阔混交林的扩展种,但在辽东山区古石河高海拔区域森林群落中的地位和作用已逐渐弱化,在暗针叶林中变为隐退种。依据上述树种在群落中的地位和作用^[25]及其生物学和生态学特性,以及红松在不同林型森林群落中的扩展和隐

退趋势,并结合各林型森林群落内乔木种群的径级结构,现阶段辽东山区古石河的落叶阔叶林、针阔混交林和暗针叶林群落均处于向顶级群落演替的阶段,且处于演替的后期。

参考文献:

- [1] 王刚,张大勇,杜国祯. 亚高山草甸弃耕地植物群落演替的数量研究Ⅳ. 组分种生态位分析[J]. 草地学报, 1991, 1(1): 93-99.
- [2] 武吉华,张绅,江源,等. 植物地理学[M]. 4版. 北京: 高等教育出版社, 2004: 200-201.
- [3] 张金屯. 数量生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [4] 刘楠楠,刘佳,张明月,等. 湖南桃源洞国家级自然保护区台湾松+擦木群落特征[J]. 植物资源与环境学报, 2017, 26(4): 84-92.
- [5] 李庆康,马克平. 植物群落演替过程中植物生理生态学特性及其主要环境因子的变化[J]. 植物生态学报, 2002, 26(增刊): 9-19.
- [6] 刘秀珍,张峰,张金屯,等. 管涔山撂荒地植物群落演替过程中优势种种间关系分析[J]. 山西大学学报(自然科学版), 2010, 33(1): 142-146.
- [7] 张岗岗,王得祥,张明霞,等. 秦岭南坡松栎林群落演替过程中种间联结性和相关性研究[J]. 西北植物学报, 2015, 35(8): 1657-1668.
- [8] HUANTE P, RINCON E, CHAPIN F S, III. Responses to phosphorus of contrasting successional tree-seedling species from the tropical deciduous forest of Mexico[J]. Functional Ecology, 1995, 9(5): 760-766.
- [9] 张庆费,宋永昌,由文辉. 浙江天童植物群落次生演替与土壤肥力的关系[J]. 生态学报, 1999, 19(2): 174-178.
- [10] 王世雄,王孝安,李国庆,等. 陕西子午岭植物群落演替过程中物种多样性变化与环境解释[J]. 生态学报, 2010, 30(6): 1638-1647.
- [11] 张金屯,邱扬,柴宝峰,等. 吕梁山严村低中山区植物群落演替分析[J]. 植物资源与环境学报, 2000, 9(2): 34-39.
- [12] 万慧霖,冯宗炜. 庐山常绿阔叶林物种组成及其演替趋势[J]. 生态学报, 2008, 28(3): 1147-1157.
- [13] 欧光龙,陈金龙,陈洁. 云南松林火烧迹地自然更新群落的物种组成及演替特征分析[J]. 西南林业大学学报, 2016, 36(4): 9-15.
- [14] 刘珉. 多角度解读第八次全国森林资源清查结果[J]. 林业经济, 2014(5): 3-10.
- [15] 刘剑刚,张华,伏捷,等. 辽东山地老秃顶子冰缘地貌特征及其环境意义[J]. 冰川冻土, 2014, 36(6): 1420-1429.
- [16] 郭长泰. 老秃顶子自然保护区跳石塘地貌和跳石塘植被调查报告[J]. 辽宁林业科技, 1996(1): 28-31.
- [17] 张华,刘剑刚,伏捷,等. 辽东山地老秃顶子冰缘地貌植物群落类型及基本特征[J]. 冰川冻土, 2015, 37(2): 500-510.
- [18] 金潇,付敏,杨敏. 桓仁岩堆地貌特征与属性初探[J]. 安全与环境工程, 2016, 23(5): 1-6.
- [19] 方精云,沈泽昊,唐志尧,等. “中国山地植物物种多样性调查计划”及若干技术规范[J]. 生物多样性, 2004, 12(1): 5-9.
- [20] 李立,陈建华,任海保,等. 古田山常绿阔叶林优势树种甜槠和木荷的空间格局分析[J]. 植物生态学报, 2010, 34(3): 241-252.
- [21] 李剑源,刘德栋,吕蕊. 老秃顶子国家级自然保护区科学考察报告集[M]. 沈阳: 沈阳出版发行集团沈阳出版社, 2016.
- [22] 李秀芬,王平华,刘江,等. 辽东山区1960—2015年降水极值特征[J]. 生态学杂志, 2017, 36(8): 2160-2168.
- [23] 谭炳炎,姚一江. 山啸[J]. 铁道工程学报, 1984(3): 74-77.
- [24] 董厚德,唐炯炎. 辽东山地“乱石窖”植被演替规律的初步研究[J]. 植物生态学与地植物学丛刊, 1965, 3(1): 117-130.
- [25] 伏捷,孙才志,张华,等. 辽东山地老秃顶子古冰缘地貌植物种群生态位特征[J]. 地理研究, 2018, 37(4): 731-741.

(责任编辑: 佟金凤)