

靳英华, 许嘉巍, 刘丽娜, 等. 长白山苔原带优势植物种的分布格局及其关联性研究[J]. 地理科学, 2016, 36(8): 1212-1218. [Jin Yinghua, Xu Jiawei, Liu Lina et al. Spatial Distribution Pattern and Associations of Dominant Plant Species in the Alpine Tundra of the Changbai Mountains. Scientia Geographica Sinica, 2016, 36(8): 1212-1218.] doi: 10.13249/j.cnki.sgs.2016.08.012

长白山苔原带优势植物种的分布格局 及其关联性研究

靳英华, 许嘉巍, 刘丽娜, 贺红士, 陶岩, 宗盛伟, 杜海波, 王雷, 朱瑞帅

(东北师范大学地理科学学院, 吉林 长春 130024)

摘要:通过开展植被样方调查, 确定苔原带的主要优势种, 分析优势种的分布格局及其关联性, 从地理角度分析长白山苔原带植被变化特征。研究表明: ① 长白山苔原带8个优势种中, 草本植物已占6个。灌木中牛皮杜鹃 (*Rhododendron chrysanthum*) 依然为最主要的优势种, 但笃斯越橘 (*Vaccinium uliginosum*) 的优势地位已被草本的小白花地榆 (*Sanguisorba parviflora*) 取代。草本植物聚集程度强, 苔原植被存在草甸化趋势。② 除牛皮杜鹃与大白花地榆 (*Sanguisorba stipulata*) 之间存在较显著的负联结, 排它现象明显外, 多种优势种之间存在正联结, 有弱的伴生现象, 牛皮杜鹃和小白花地榆为强正联结, 伴生现象更明显, 草本植物与灌木伴生将长期存在。③ 各草本植物入侵、定植、扩展机制多样。小白花地榆分布广, 聚集程度较弱, 以种子繁殖为主, 扩展速度较快; 大白花地榆、小叶章 (*Calamagrostis angustifolia*) 等聚集程度较强, 以无性繁殖为主, 扩展速度较慢, 但竞争能力强, 在适宜生境中, 能驱除其它物种。

关键词: 长白山; 苔原带; 优势种; 分布格局; 关联性

中图分类号: Q948 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2016)08-1212-07

过去30 a, 长白山苔原带的生态环境已发生了明显的变化, 生长季温度显著升高, 积温增加, 生长期延长; 降水量增多, 降水日数减少, 降水强度增加; 积雪厚度下降, 融雪期提前, 雪被期缩短^[1-10]。与此同时, 长白山苔原带已经观测到氮沉降量增加, 尤其在公路附近最为显著^[11]。

将近年的植物样方调查结果与钱家驹和钱宏的记载对比后发现^[12,13], 长白山西坡苔原带植被发生了显著的变化^[14-16], 一些草本植物如大白花地榆 (*Sanguisorba stipulata*), 小白花地榆 (*Sanguisorba parviflora*), 小叶章 (*Calamagrostis angustifolia*), 单花橐吾 (*Ligularia jamesii*), 高岭风毛菊 (*Saussurea tomentosa*), 长白老鹳草 (*Geranium baishanense*), 尖被藜芦 (*Veratrum oxysepalum*), 大苞柴胡 (*Bupleurum euphorbioides*) 等多度增加, 分布范围显著扩展。这

些或由岳桦林带迁入或仅是苔原带的偶见种, 现已形成草本植物斑块, 成为常见种甚至优势种; 与之相反, 以灌木为代表的苔原优势种和特有种如牛皮杜鹃 (*Rhododendron chrysanthum*)、笃斯越橘 (*Vaccinium uliginosum*)、松毛翠 (*Phyllodoce caerulea*)、宽叶仙女木 (*Dryas octopetala*)、毛毡杜鹃 (*Rhododendron confertissimum*) 等的分布区明显萎缩^[17]。

目前关于长白山苔原带植被变化机理尚不清楚, 本研究旨在揭示长白山苔原带主要优势种的变化、优势种的空间分布格局及其关联性, 从地理角度分析长白山苔原带植被变化特征。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

长白山地处吉林省东南(41°23'N~42°36'N,

收稿日期: 2015-10-16; **修订日期:** 2015-12-23

基金项目: 国家自然科学基金项目(41571078, 41171072)、长白山科学研究院开放基金项目(201501)、国家地震局行业专项(201208005)资助。[Foundation: National Natural Science Foundation of China (41571078, 41171072), Open Foundation of Changbai Scientific Research Academy (201501), Special Fund of National Seismological Bureau, China (201208005).]

作者简介: 靳英华(1968-), 女, 博士, 副教授, 主要从事自然地理学研究。E-mail: jinyh796@nenu.edu.cn

通讯作者: 许嘉巍, 教授。E-mail: xujw634@nenu.edu.cn

126°55'E~129°E),为中国和朝鲜两国的界山,是中国东北最高山峰(海拔2 691 m)。由于地势高峻,气候、植被和土壤成明显的垂直带分布。从下而上为山地针阔混交林带、山地针叶林带、亚高山岳桦林带和高山苔原带。

长白山苔原带位于海拔2 000 m以上的火山锥上部。地表多为碱性粗面岩风化物 and 少量火山灰,地貌为流水改造的火山锥坡面,土壤为薄层山地苔原土,寒带气候。研究区植物中极地或高山种属约占80%,以灌木为主,牛皮杜鹃群落和笃斯越橘群落为苔原带最常见的植物群落,群落中存在2个层片,为灌木层片、苔藓-地衣层片,一般不形成草本植物层片。

1.2 研究方法

1.2.1 样地调查

野外调查采用设置样地进行系统抽样的方法。2014年8月在长白山西坡苔原带布设了100 m×1 600 m的大样地,样地具体位置见表1。在此大样方内,沿样带主方向每隔50 m,横向设置样条,均匀布设4个1 m×1 m的控制性样方,共计33×4=132个控制样方,记录经纬度、海拔(由GPS测得)、坡度和坡向(由罗盘测得),进行植被样方调查(植物种、株高、株数、盖度)。

表1 样地位置

Table 1 Location of sample plots

控制点	纬度	经度	海拔(m)
样带西南角	41.9895°N	128.0031°E	2073
样带西北角	41.9900°N	128.0023°E	2080
样带东南角	41.9931°N	128.0190°E	2293
样带东北角	41.9938°N	128.0187°E	2322

1.2.2 数据处理

1) 优势种的确定。计算长白山苔原带中各物种的重要值,再用降序排列的重要值来确定物种的优势程度,其中,重要值数值大于3的物种判定为优势种。

重要值=[相对密度+相对频度+相对盖度]/3。其中,相对密度=某种植物的个体数/全部植物个体数×100;相对频度=某种植物的种群频度/所有种群频度之和×100;相对盖度=某种植物的种群盖度/所有种群盖度之和×100。

2) 分布格局类型与聚集强度的判定。采用

扩散系数(DI)测定分布格局类型,然后用t检验判断分布格局的显著性。

$$DI = \frac{S^2}{\bar{X}} \tag{1}$$

式中, S^2 为种群多度的方差, \bar{X} 为种群多度均值。扩散系数(DI)是检验种群是否偏离随机分布的一个系数。对于在泊松分布中方差等于总体平均数,故DI=1时,种群属随机分布;DI>1时,为集群分布;DI<1时,为均匀分布。

采用聚集强度负二项参数(K)判定聚集强度。

$$K = \frac{\bar{X}^2}{(S^2 - \bar{X})} \tag{2}$$

式中,负二项参数K值与种群密度无关,K值愈小,聚集度愈大。如果K值趋于无穷大(一般为8以上),则接近随机分布。

3) 种间关联研究。在调查样地中选取优势度相对较大的物种进行种间联结及相关性分析。建立2×2联列表(表2),并根据原始资料矩阵,计算各种对的a、b、c和d值。以 λ^2 检验为基础,结合连接系数AC和共同出现百分率PC等方法共同测定物种的联结性。

① 检验2个种关联与否 λ^2 检验。

$$\lambda^2 = \frac{N[|ad-bc| - \frac{1}{2}N]^2}{(a+b)(c+d)(a+c)(b+d)} \tag{3}$$

表2和(3)式中,a为2个种均出现的样方数,b为仅有A种出现的样方数,c为仅有B种出现的样方数,d为2种都未出现的样方数。式中,N为小样方总数, λ^2 近似遵从自由度为1的分布,当 $\lambda^2 < 3.84(p>0.05)$ 时,种间联结独立;当 $3.84 \leq \lambda^2 < 6.635(0.01 < p < 0.05)$ 时,种间有一定的生态联结;当 $\lambda^2 \geq 6.635(p < 0.01)$ 时,种间有显著的生态联结。 λ^2 本身没有负值,判定正、负联结的方法是当 $ad > bc$,种间具正关联;若 $ad < bc$,种间具负关联。

表2 两物种的2×2联列表

Table 2 The 2×2 contingency table of two species

A种	B种		合计
	出现	不出现	
出现	a	b	a+b
不出现	c	d	c+d
合计	a+c	b+d	N=a+b+c+d

② 联结系数AC。为进一步测定种间关联强

度,采用种间联结系数AC,AC用来进一步检验由 λ^2 所测出的结果及说明种间联结程度。AC的值域为 $[-1, 1]$,AC值越趋近1,种对的正关联性越强,AC值越趋近-1,种对负关联性越强,AC值为0,种间完全独立。其计算公式为

$$AC = \begin{cases} (ad - bc)/(a+b)(b+d) & ad \geq bc \\ (ad - bc)/(a+b)(a+c) & ad < bc \text{ 且 } d \geq a \\ (ad - bc)/(b+d)(d+c) & ad < bc \text{ 且 } d < a \end{cases} \quad (4)$$

③ 共同出现百分率PC。式(5)用来测度物种间正联结程度的,PC的值域为 $[0, 1]$,值越趋近于1则表明该种对的正联结越紧密。

$$PC = a/(a+b+c) \quad (5)$$

1.2.3 统计方法

利用Excel软件对各物种的密度、频度和盖度进行统计,计算各物种的重要值,确定苔原带优势物种;利用SPSS 18.0对苔原优势植物进行聚类分析。

2 结果

2.1 长白山高山苔原带物种组成与优势物种

2.1.1 物种组成

长白山苔原带大样地内植物种类共78种,隶属22科。包括杨柳科(Salicaceae)、蓼科(Polygonaceae)、石竹科(Caryophyllaceae)、毛茛科(Ranunculaceae)、景天科(Crassulaceae)、虎耳草科(Saxifragaceae)、蔷薇科(Rosaceae)、豆科(Leguminosae)、牻牛儿苗科(Geraniaceae)、堇菜科(Violaceae)、伞形科(Umbelliferae)、杜鹃花科(Ericaceae)、报春花科(Primulaceae)、龙胆科(Gentianaceae)、玄参科(Scrophulariaceae)、桔梗科(Campanulaceae)、菊科(Compositae)、禾本科(Gramineae)、莎草科(Cyperaceae)、灯心草科(Juncaceae)、百合科(Lilia-

ceae)、兰科(Orchidaceae)。

2.1.2 主要优势物种

长白山高山苔原带植物群落中有30个种群的重要值超过0.5,选取重要值>3.0的8个种群为苔原带优势种(表3),按重要值大小依次为牛皮杜鹃、大白花地榆、小白花地榆、小叶章、单花囊吾、高岭风毛菊、笃斯越橘、长白老鹳草。

2.2 优势种空间分布格局

长白山西坡优势植物的方差/均值比均大于1,且都通过 t 检验,可以判定8种优势植物的分布格局都属于聚集分布(表4)。牛皮杜鹃的 K 值最大,聚集强度最弱;笃斯越橘的 K 值最小,聚集强度最强。除了小白花地榆,大多数草本植物的 K 值都小,因此聚集强度都较强,聚集强度由弱到强依次为小白花地榆、大白花地榆、高岭风毛菊、长白老鹳草、小叶章和单花囊吾(表4)。

虽然目前优势种都呈聚集分布,但是其分布特点还是有差异,通过聚类分析,可分成4种类型:① 多度大,聚集程度弱,如:牛皮杜鹃。② 多度较大,聚集强度较弱,如:小白花地榆。③ 多度较大,聚集强度大,如:小叶章和大白花地榆。④ 多度小,聚集强度大,如:笃斯越橘、高岭风毛菊、长白老鹳草和单花囊吾。

2.3 优势植物种间关联性分析

研究区8个优势种组成的28个种对中,联结性达到极显著($\lambda^2 > 6.635$)和显著水平($3.841 < \lambda^2 < 6.635$)的有16对;其中检验成正联结的有16对,占总对数的57.1%,负联结的有12对,占总对数的42.9%(表5)。

牛皮杜鹃为苔原带最主要的优势种,与灌木笃斯越橘显著正联结;与6种草本优势种的关联性不同,与小白花地榆、单花囊吾和高岭风毛菊为极

表3 长白山高山苔原带植物群落各种群重要值

Table 3 Each population IV of the alpine tundra vegetation population of the Changbai Mountains

序号		总株数	相对密度(RD)	相对盖度(RC)	相对频度(RF)	重要值(IV)
1	牛皮杜鹃	7028	30.12	24.08	7.48	20.56
2	大白花地榆	2281	9.78	11.57	5.30	8.88
3	小白花地榆	2583	11.07	7.21	7.48	8.59
4	小叶章	1872	8.02	8.30	3.95	6.76
5	单花囊吾	1080	4.63	4.83	4.62	4.70
6	高岭风毛菊	747	3.20	3.18	5.04	3.81
7	笃斯越橘	635	2.72	5.63	2.52	3.62
8	长白老鹳草	661	2.83	2.08	4.29	3.07

表4 优势植物空间格局类型
Table 4 Spatial pattern type of dominant species

植物种名	DI	T_检验	K	格局类型	多度
牛皮杜鹃	53.85	126.44	1.02	聚集	53.24
大白花地榆	43.69	104.52	0.4	聚集	17.28
小白花地榆	21.60	51.67	0.97	聚集	19.57
小叶章	57.95	138.64	0.25	聚集	14.18
单花囊吾	37.23	89.07	0.23	聚集	8.18
高岭风毛菊	16.13	38.59	0.38	聚集	5.66
笃斯越橘	50.47	120.74	0.1	聚集	4.81
长白老鹳草	19.61	46.91	0.27	聚集	5

显著的正联结,与小叶章、长白老鹳草间联结独立,与大白花地榆极显著的负联结。笃斯越橘与草本优势植物的关联性和牛皮杜鹃与草本的关联性基本一致。

草本优势植物的15个种对,有5对是极显著和显著的正联结,5对是极显著的负联结,5对联结独立(表5)。小叶章、长白老鹳草与大部分草本优

势植物联结独立;小白花地榆仅与小叶章联结独立,与其它草本优势种为显著的联结;高岭风毛菊和所有草本优势植物都为极显著的联结;大白花地榆、单花囊吾与其它草本优势植物都有显著的联结。

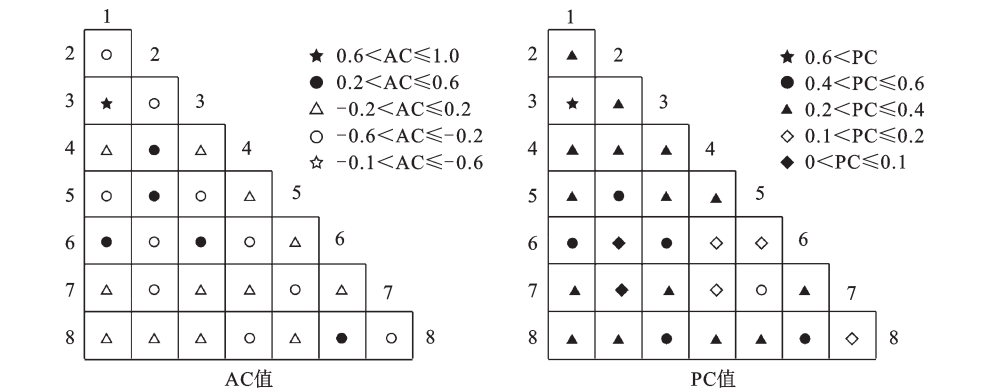
对于种间关联显著性的研究,仅用 λ^2 检验的方法是不够的,因为 λ^2 检验仅得出了关联性显著与否的结论,对那些经检验不显著的种对间,并不意味着它们之间不存在联结性;此外, λ^2 检验不能区分联结强度的大小,模糊了种间联结性之间的差异,而以 λ^2 检验为基础,结合联结系数AC和共同出现百分率PC共同来测定种对间的联结状况则效果较好。

长白山苔原带优势种联结度不强,仅有1对牛皮杜鹃-小白花地榆为强正联结,共同出现的百分率达到60%以上。5对弱正联结,12对为不联结,10对为弱负联结;5对的共同出现率在40%~60%之间,其余15个种对的共同出现率在20%~40%之间,6个种对共同出现率低于20%(图1)。

表5 优势种群种间关联的 λ^2 值测定矩阵表
Table 5 The λ^2 mensuration matrix of interspecific association for dominant species pairs

	牛皮杜鹃	大白花地榆	小白花地榆	小叶章	单花囊吾	高岭风毛菊	笃斯越橘
大白花地榆	27.009 -						
小白花地榆	65.362 +	27.525 -					
小叶章	1.877 -	9.765 +	1.608 -				
单花囊吾	8.161 +	25.369 +	7.040 -	0.191 +			
高岭风毛菊	19.166 +	35.965 -	21.018 +	14.582 -	7.071 -		
笃斯越橘	5.460 +	33.015 -	6.819 +	0.896 -	25.557 -	5.982 +	
长白老鹳草	3.804 +	1.889 -	8.945 +	0.015 +	0.054 +	13.720 +	0.002 +

注:“+”为正关联;“-”为负关联。



注:1. 牛皮杜鹃 2. 大白花地榆 3. 小白花地榆 4. 小叶章 5. 单花囊吾 6. 高岭风毛菊 7. 笃斯越橘 8. 长白老鹳草。

图1 优势种群种间联结性半矩阵图

Fig.1 Semi-matrix figure of interspecific association for dominant species

3 结论

1) 目前长白山苔原带8个优势种中,草本植物已占6个。按重要值分别为牛皮杜鹃、大白花地榆、小白花地榆、小叶章、单花囊吾、高岭风毛菊、笃斯越橘、长白老鹳草。灌木中虽然牛皮杜鹃依然为最主要的优势种,但是笃斯越橘的优势地位已经下降,小白花地榆、大白花地榆和小叶章等多种草本植物已经占据重要位置,长白山苔原植被存在草甸化趋势。

2) 牛皮杜鹃多度大,聚集程度弱,仍为苔原带的植物本底,占据多数生境;笃斯越橘多度小、聚集强度最强,生存空间高度减少,但在部分生境中生长良好;小白花地榆多度较大,聚集程度较弱,与牛皮杜鹃为强正联结,成为强烈扩展的草本植物。大白花地榆、小叶章等草本植物聚集程度较强,呈现斑块分布,已占据了部分生境。多数优势植物之间关联度低,聚集程度较强,说明各优势植物存在生境选择差异,种间竞争导致分布变化的压力较少,苔原带植被变化趋于稳定。

3) 各草本植物入侵、定植、扩展机制多样,依据多度和K值分析,小白花地榆分布广,聚集程度较弱,应为种子繁殖为主,扩展速度应较快;大白花地榆、小叶章等以无性繁殖为主,扩展速度应较慢,但种间竞争能力强,在适应生境中,能有效驱除其它物种。

4) 除牛皮杜鹃与大白花地榆之间存在较显著的负联结,排他现象明显外,多种优势种之间存在正联结,有弱的伴生现象,牛皮杜鹃和小白花地榆为强正联结,伴生现象更明显,可见草本植物与灌木伴生将长期存在。

4 讨论

1) 长白山的高山苔原向高山草甸转化,可和已有的研究比较^[18-21]。如在模拟增温和增加氮沉降的条件下,挪威南部高山带的优势矮灌木宽叶仙女木被禾本科草本取代。Bobbink对瑞典北方的亚高山苔原进行氮沉降实验,苔原优势种小灌木岩高兰(*Empetrum hermaphroditum*)被快速生长的草本曲芒发草(*Deschampsia flexuosa*)代替。可见,增温和氮沉降增加可能是长白山的高山苔原向高山草甸转化的重要原因。

2) 已有的氮沉降研究表明,氮沉降量增加对

入侵的草本植物生长有明显的促进作用,抑制了苔原原生植物特别是笃斯越橘等灌木的生长;在不同氮沉降量条件下,无草本侵入的牛皮杜鹃斑块和笃斯越橘斑块群落结构变化并不明显^[11,22]。本研究的结果也表明牛皮杜鹃仍为苔原带的植物本底,笃斯越橘生存空间高度减少。因此,长白山的高山苔原向高山草甸转化过程,可能是缓慢而复杂的。牛皮杜鹃具有较强的抵抗草本植物竞争的能力,而笃斯越橘的竞争能力差^[22],可能最先退出苔原带。

3) 草本植物聚集程度强,呈斑块状分布。多种草本植物上侵到苔原带,分属不同的植物功能群类型,扩展机制不同,占据不同的空间位置。

草本植物空间格局类型的多样化,是响应苔原带环境变化多样化的结果^[23-29],今后的研究要将多样的苔原带植被变化置于统一的全球变化响应模式中,探讨长白山苔原带草本植物空间扩展机理,揭示全球变化下高山苔原带植被变化机理、空间变化过程和未来变化趋势。

参考文献(References):

- [1] 王纪军,裴铁璠,王安志,等.长白山地区近50年平均最高和最低气温变化[J].北京林业大学学报,2009,31(2):50-57. [Wang Jijun, Pei Tiefan, Wang Anzhi et al. Changes in the mean maximum and minimum temperatures in Changbai Mountain, northeastern China in the past 50 years. Journal of Beijing Forestry University, 2009, 31(2): 50-57.]
- [2] 胡乃发,王安志,关德新,等.1959-2006年长白山地区降水序列的多时间尺度分析[J].应用生态学报,2010,21(3):549-556. [Hu Naifa, Wang Anzhi, Guan Dexin et al. Multiple time scale analysis of precipitation series in Changbai Mountain Region in 1959-2006. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(3): 549-556.]
- [3] Ni J, Zhang X S. Climate variability, ecological gradient and the Northeast China Transect(NECT)[J]. Journal of Arid Environments, 2000, 46: 313-325.
- [4] 宗盛伟,吴正方,杜海波.近52a长白山苔原带生长季气候变化特征[J].干旱区研究,2013,30(1):41-49. [Zong chengwei, Wu Zhengfang, Du Haibo. Study on climate change in alpine tundra of the Changbai Mountain in growing season in recent 52 years. Arid Zone Research, 2013, 30(1): 41-49.]
- [5] 南颖,刘志锋,董叶辉,等.2000-2008年长白山地区植被覆盖变化对气候的响应研究[J].地理科学,2010,30(6):921-928. [Nan Ying, Liu Zhifeng, Dong Yehui et al. The responses of vegetation cover to climate change in the Changbai Mountain area from 2000 to 2008. Scientia Geographica Sinica, 2010, 30(6): 921-928.]

- [6] 周晓峰, 王晓春, 韩士杰, 等. 长白山岳桦苔原过渡带动态与气候变化[J]. 地学前缘, 2002, 9(1): 227 - 231. [Zhou Xiaofeng, Wang Xiaochun, Han Shijie et al. The effect of global climate change on the dynamics of *Betula ermanii*-tundra ecotone in the Changbai Mountains. Earth Science Frontiers, 2002, 9(1): 227-231.]
- [7] 王晓东, 刘惠清. 长白山北坡林线岳桦种群动态对气候变化响应的坡向分异[J]. 地理科学, 2012, 32(2): 199-206. [Wang Xiaodong, Liu Huiqing. The dynamics response of *betula ermanii* population and climate change on different slopes aspect of North slope, changbai mountains. Scientia Geographica Sinica, 2012, 32(2): 199-206.]
- [8] 王晓东, 刘惠清. 长白山北坡岳桦林线变动的水热条件分析[J]. 地理科学进展, 2011, 30(3): 313-318. [Wang Xiaodong, Liu Huiqing. Water and heat changes of *Betula ermanii* treeline on northern slope of Changbai Mountains. Progress in Geography, 2011, 30(3): 313-318.]
- [9] Wang Xiaodong, Liu Huiqing. Responses of tree islands to air temperature change at treeline on north-facing slopes of the Changbai Mountains [J]. PHYS GEOGR, 2011, 32(4): 374-392.
- [10] Zong Shengwei, Wu Zhengfang, Xu Jiawei et al. Current and potential tree locations in tree line ecotone of Changbai Mountains, Northeast China: the controlling effects of topography[J]. PLOS One, 2014, 9(8): e106114.
- [11] Jin Yinghua, Xu Jiawei, Wang Yeqiao et al. Effects of Nitrogen deposition on tundra vegetation undergoing invasion by *Deyeuxia angustifolia* in Changbai Mountains[J]. Chinese Geographical Science, 2016, 26(1): 99-108.
- [12] 钱家驹, 张文仲. 长白山高山冻原植物的调查研究简报[J]. 东北师大学报: 自然科学版, 1980, 1: 51-67. [Qian Jiaju, Zhang Wenzhong. A brief report on the research of the Changbaishan alpine tundra vegetation. Journal of Northeast Normal University (Natural Science Edition), 1980, 1: 51-67.]
- [13] 钱宏. 长白山高山冻原植物群落的数量分类和排序[J]. 应用生态学报, 1990, 1(3): 254-263. [Qian Hong. Numerical classification and ordination of plant communities in Mt.Changbai. Journal of Applied Ecology, 1990, 1(3): 254-263.]
- [14] 许嘉巍, 张飞虎. 长白山自然地理研究的几个主要问题[M]. 长春: 东北师范大学出版社, 2010: 266-274. [Xu Jiawei, Zhang Feihu. Several main questions of physical geography research of Changbai mountains. Changchun: Northeast Normal University Press, 2010: 266-274]
- [15] 靳英华, 许嘉巍, 梁宇, 等. 火山干扰下的长白山植被分布规律[J]. 地理科学, 2013, 33(2): 203-208. [Jin Yinghua, Xu Jiawei, Liang Yu et al. Effects of volcanic interference on the vegetation distribution of Changbai Mountain. Scientia Geographica Sinica, 2013, 33(2): 203-208.]
- [16] 宗盛伟, 许嘉巍, 吴正方. 长白山西坡小叶章侵入苔原带调查与机理分析[J]. 山地学报, 2013, 31(4): 448-455. [Zong Shengwei, Xu Jiawei, Wu Zhengfang. Investigation and mechanism analysis on the invasion of *deyeuxia angustifolia* to tundra Zone in western slope of changbai mountain. Journal of Mountain Science, 2013, 31(4): 448-455.]
- [17] 宗盛伟, 许嘉巍, 吴正方, 等. 长白山西坡小叶章侵入苔原带过程及影响研究[J]. 生态学报, 2014, 23: 6837-6846. [Zong Shengwei, Xu Jiawei, Wu Zhengfang et al. Analysis on the process and impacts of *deyeuxia angustifolia* invasion on the alpine tundra, Changbai Mountain. Acta Ecologica Sinica, 2013, 34(23): 6837-6846.]
- [18] Klanderud K, Totland O. Simulated climate change altered dominance hierarchies and diversity of an alpine biodiversity hotspot[J]. Ecology, 2005, 86(8): 2047-2054.
- [19] Bobbink R, Hornung M, Roelofs J G. The effects of air-borne Nitrogen pollutants on species diversity in natural and semi-natural European vegetation[J]. Journal of Ecology, 1998, 86(5): 717-738.
- [20] Klanderud K, Totland O. The relative role of dispersal and local interactions for alpine plant community diversity under simulated climate warming[J]. Oikos, 2007, 116(8): 1279-1288.
- [21] Klanderud K. Species-specific responses of an alpine plant community under simulated environmental change[J]. Journal of Vegetation Science, 2008, 19(3): 363-U109.
- [22] 靳英华, 许嘉巍, 宗盛伟, 等. 氮沉降对长白山苔原植被影响的试验研究[J]. 地理科学, 2014, 34(12): 1526-1532. [Jin Yinghua, Xu Jiawei, Zong Shengwei et al. Experimental study on the effects of Nitrogen deposition on the tundra vegetation of the Changbai Mountains. Scientia Geographica Sinica, 2014, 34(12): 1526-1532.]
- [23] Olsen S L, Klanderud K. Biotic interactions limit species richness in an alpine plant community, especially under experimental warming[J]. Oikos, 2014, 123(1): 71-78.
- [24] Farrer E C, Ashton I W, Spasojevic M J et al. Indirect effects of global change accumulate to alter plant diversity but not ecosystem function in alpine tundra[J]. Journal of Ecology, 2015, 103: 351-360.
- [25] Wipf S, Rixen C. A review of snow manipulation experiments in Arctic and alpine tundra ecosystems[J]. Polar Research, 2010, 29(1): 95-109.
- [26] Lenoir J, Gegout J C, Marquet P A et al. A significant upward shift in plant species optimum elevation during the 20th century [J]. Science, 2008, 320(5884): 1768-1771.
- [27] Randin C F, Vuissoz G, Liston G E et al. Introduction of snow and geomorphic disturbance variables into predictive models of alpine plant distribution in the western Swiss Alps[J]. Arctic, Antarctic, and Alpine Research, 2009, 41(3): 347-361.
- [28] 陈建国, 杨扬, 孙航. 高山植物对全球气候变暖的响应研究进展[J]. 应用与环境生物学报, 2011, 17(3): 435-446. [Chen Jianguo, Yang Yang, Sun Hang. Advances in the studies of responses of alpine plants to global warming, Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 2011, 17(3): 435-446.]
- [29] Treseder K K. Nitrogen additions and microbial biomass: a me-

Spatial Distribution Pattern and Associations of Dominant Plant Species in the Alpine Tundra of the Changbai Mountains

Jin Yinghua, Xu Jiawei, Liu Lina, He Hongshi, Tao Yan,
Zong Shengwei, Du Haibo, Wang Lei, Zhu Ruishuai

(School of Geographical Science, Northeast Normal University, Changchun 130024, Jilin, China)

Abstract: Ecological environment and plant community has changed obviously to tundra zone in western slope of the Changbai Mountains during the last three decades. The space of herbaceous plant extended obviously, but the distribution range of shrub atrophied. In order to explore the tundra vegetation change characteristic from the perspective of geography, we carried out vegetation investigation to reveal the change, spatial distribution pattern and associations of the main dominant species of tundra zone in the Changbai Mountains. The results showed that: 6 dominant plant species are herbaceous plant among the 8 dominant plant species in the tundra zone of the Changbai Mountains. Although *Rhododendron chrysanthum* is still the main dominant plant species of shrubs and has a higher species abundance, a lower aggregation degree and occupies most habitats, but the dominant position of *Vaccinium uliginosum* has declined, living space has reduced. *Sanguisorba parviflora* has a high species-abundance, a low degree of aggregation. *Sanguisorba parviflora* and *Rhododendron chrysanthum* was significantly positively associated, and *Sanguisorba parviflora* became a strong extension of herbaceous plant. Herbaceous plants such as *Sanguisorba stipulata* and *Calamagrostis angustifolia* have a high degree of aggregation, present patch distribution, and have occupied part of habitats. The tundra vegetation of the Changbai Mountains has the trend of meadowization. Among mostly dominant plants showed a low correlation and had a higher degree of aggregation. It illustrates that each dominate plant specie has different choice of habitats and the pressure of distribution change get small because of inter-specific competition, so the change of tundra vegetation has stabilized. Except *Rhododendron chrysanthum* and *Sanguisorba stipulata* showed a significant negative correlation and had a obviously exclusive phenomenon. Among several dominant plant species showed a positive correlation and had a slight attendant phenomenon. *Rhododendron chrysanthum* and *Sanguisorba parviflora* showed a significant positive correlation and attendant phenomenon. It is visible that herbaceous plant and shrubs associated will exist for a long time. The herbaceous plant has a diverse invasion, colonization, and expansible mechanism. *Sanguisorba parviflora* has wide distribution, a low aggregation degree, because the predominant propagation mode of *Sanguisorba parviflora* was seed reproduces, it should have a faster extended speed. The predominant propagation mode of *Sanguisorba stipulata* and *Calamagrostis angustifolia* was asexual, their extended speed is slower, but inter-specific competition ability was stronger, in adaptation habitats, they can get rid of other species effectively.

Key words: the Changbai Mountains; alpine tundra; dominant species; distribution pattern; association