

长白山暗针叶林林隙一般特征及干扰状况

杨 修

(中国农业科学院农业气象研究所, 北京 100081)

摘要:对长白山暗针叶林林隙一般特征和干扰状况进行了研究。结果表明:长白山暗针叶林林隙的线状密度为 21.15 个/km, 扩展林隙所占的面积比例为 29.45%, 冠空隙所占的面积比例为 15.81%; 冠空隙的年干扰频率为 0.24%, 干扰轮回期为 416.7a 左右; 冠空隙的大小变化在 17.9~340.3 m² 之间, <100 m² 的冠空隙个数较多, 冠空隙的平均面积为 93.60m²; 扩展林隙的大小变化在 43.6~482.3 m² 之间, 50~200 m² 之间的扩展林隙个数较多, 扩展林隙的平均面积为 174.34m²; 暗针叶林林隙形成的主要方式是风倒; 在长白山暗针叶林中, 大多数林隙是由 2~6 株形成木形成, 其中由 3 株形成木形成的林隙最多, 单株或 7 株以上形成木形成的林隙数量很少; 在暗针叶林中, 10~40a 前这段时间形成的林隙较多, 特别是 20~30a 期间形成的林隙最多。其它阶段形成的林隙较少; 暗针叶林的林隙大多是由臭冷杉、落叶松和鱼鳞云杉形成。径级在 10~30 cm 之间, 高度在 25~30 m 之间的主林层树木形成林隙的可能性最大。暗针叶林林分组成、林隙干扰方式和程度随海拔高度的变化而变化。

关键词:长白山; 暗针叶林; 林隙; 林隙形成木; 干扰状况; 干扰频率

Gap Characteristics and Disturbance Regime in a Dark Coniferous Forest in Changbai Mountain Areas

YANG Xiu (Agro-Meteorology Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China).

Acta Ecologica Sinica, 2002, 22(11): 1845~1851.

Abstract: Gap characteristics and disturbance regime in a dark coniferous forest in Changbai mountain areas were studied. The result showed: the linear gap density in the forest was 21.15 gaps/km, the expanded gaps occupied 29.45%, and canopy gaps occupied 15.81%. The yearly gap disturbance frequency was 0.24% and the disturbance rotation was 416.7 years. Canopy gaps varied from 17.9 to 340.3m² and the majority were less than 100m². Expanded gaps varied from 43.6 to 482.3m² with most between 50m² and 200m². The most important cause of gap formation was uprooting from blow-down, and the secondary cause was breakage at the trunk base. Most gaps were formed by 2~6 gap makers. Major gap makers were *Abies nephrolepis*, *Larix olgensis*, and *Picea jezoensis*. The probability of gap development was greatest when the trees in the canopy layer were 10~30 cm DBH and 25~30m high. In the dark coniferous forest, gap ages were mostly 10 to 40 years and there were very few over 60 years. This indicates that gaps were filled with regenerated young trees so that they were difficult to distinguish from the normal stand. The stand structure, gap disturbance cause, and degree varied with elevation, with increased gaps above 1350 m.

Key words: Changbai mountain; dark coniferous forest; gap; gap maker; disturbance regime; disturbance frequency

文章编号:1000-0933(2002)11-1825-07 中图分类号:S718.5 文献标识码:A

基金项目:国家自然科学基金资助项目(39870132)

收稿日期:2002-01-23; 修订日期:2002-07-22

作者简介:杨修(1961-), 男, 河南省新安县人, 博士, 副研究员。主要从事森林生态、农林复合经营、乡村可持续发展及退化生态系统的恢复与重建研究。

林隙动态是森林循环理论的基础,自然干扰是林隙发生、发展的动力。林隙的大小、年龄、形成方式和形成木特征直接影响着林隙内的生态环境,从而对不同树种的更新与生长产生重要作用。林隙干扰的时空变化规律与不同树种的反应规律相结合,就形成了林隙动态的系统变化过程,这种系统动态变化过程是许多森林群落中物种共存与生物多样性维持的重要基础,亦是森林景观宏观结构的重要微观发生机制以及认识和合理开发利用暗针叶林的重要理论基础。暗针叶林的结构与动态规律的研究,长期以来一直是我国植物学家和林学家深感兴趣并不断探索的焦点之一。20 世纪 50~60 年代,我国老一代生态学家和林学家围绕暗针叶林的采伐更新,进行了暗针叶林主要树种耐荫性、更新规律和采伐利用等方面的研究^[1~3]。从 20 世纪 80 年代初开始,学者们对暗针叶林的系统发生、群落结构、更新规律及时空格局等进行了较为广泛的研究,尤其是长白山暗针叶林的研究引人注目^[4~7]。这些工作促进了暗针叶林结构动态研究的发展,但其中均未将林冠空隙(简称林隙)干扰这一因素考虑在内,因此,许多问题仍难以解释。到目前为止,关于林隙时空格局及干扰规律的研究不仅缺乏系统性,而且仍没有将林隙干扰与生物学规律的研究完整结合起来,所以在解释暗针叶林的结构规律与生物多样性的动态维持时,显的证据不足。国外近年来十分重视林隙动态和物种反应的研究,对林隙的形成及其与自然干扰的关系、林隙的结构特征、林隙内的生境变化规律、物种对林隙的反应与填充的动态规律、林隙动态与物种共存、生物多样性维持及森林景观动态的关系等给予了足够重视^[8~15]。我国在林隙的研究方面还刚刚起步,仅在林隙环境与更新方面进行过一些探讨^[16,17],关于林隙干扰状况的研究报道还较少^[18~21],而关于暗针叶林林隙干扰状况的研究尚未见报道。本文针对长白山暗针叶林林隙一般特征进行了比较详细的分析研究,以期为揭示暗针叶林这一典型生态系统的动态变化、物种共存及生物多样性维持的动态机制等方面的研究奠定坚实基础,并对进一步全面系统地认识暗针叶林的自然变化规律、调控机理及其合理经营管理提供科学依据。

1 研究地区自然概况与研究方法

1.1 研究地区自然概况

调查地点位于吉林省长白山自然保护区北坡海拔 1100~1850m 的暗针叶林内,北纬 41°42',东经 127°43'。地势为比较平缓的平地与较浅的沟谷交错地带,坡度 1~5°,土壤为火山灰形成的棕色针叶林土,土层厚度 20~100cm 以上。气候属温带季风影响下的大陆性山地季风气候,其特点是春季干燥多风、夏季短暂多雨、秋季凉爽多雾、冬季漫长寒冷。年平均气温为 3.3℃,最热月 8 月份平均温度 20.5℃,最冷月 1 月份平均温度 -16.5℃,极端最高温度 32.3℃,极端最低气温 -37.6℃。年降水量 671.9mm,季节分布不均,相对湿度 66%^[7]。全年日照时数 2300 h,无霜期 100 d。

长白山暗针叶林是长白山北坡保存最好的森林地段,基本没有人为干扰。在此带上限间有岳桦混交,下限常有红松伴生。分布较广的有苔藓岳桦云冷杉林和苔藓红松云冷杉林。苔藓岳桦云杉林,是本带上限森林的典型代表,分布于海拔 1620m 以上,立木以鱼鳞云杉(*Picea jezoensis*)和红皮云杉(*Picea koyamai* var. *koraensis*)为主,混有臭冷杉(*Abies nephrolepis*)、岳桦(*Betula ermanii*)和长白落叶松(*Larix olgensis*);苔藓红松云杉林,是暗针叶林带下限的代表,位于海拔 1270m 以下,立木以云冷杉、红松(*Pinus koraiensis*)和落叶松为主,有时混有散生的长白赤松(*Pinus sylvestriiformis*)。暗针叶林中植物层次清晰,整齐高大,除针叶树外,伴生有槭树、花楸等阔叶树种。

1.2 研究方法

本研究采用样线调查法,也是进行大范围林隙调查最常用的方法^[12,19]。具体步骤是:分别沿海拔 1150m、1350m、1550m 和 1750m 4 条样线,从长白山暗针叶林邻近公路的林缘垂直向森林里走 500m 左右,以某一随机点开始调查,从起点沿罗盘仪所指的方向,由东向西方向穿行,用测步器计测走过的步数,步量始终由同一人完成^[12,19]。当遇到林隙时,就停下来记载走过的步数(每步约 0.8 m)及林隙处于方向线上的长度,记载林隙的形状,量测其大小(分别按扩展林隙和冠空隙记载)、形成木的种类、数量、死亡原因、直径、树高、腐烂程度、立地特征等。林隙年龄的判断采用的是估测法,即根据倒木发生时对相邻活立木创伤的疤痕、腐朽程度、腐朽数据、新长出小树的年龄以及老森林调查工作者的经验结合判断。对于发生在竞争中死亡的个体则根据活立木与死亡木的年龄差异来判定死亡年数。

2 结果分析

2.1 林隙在暗针叶林中的比例及干扰频率

2.1.1 林隙所占面积比例 林隙(Gap)可分为两类,即冠空隙(Canopy gap)和扩展林隙(Expanded gap)。冠空隙是指直接处于林冠层空隙垂直投影下方的土地面积,扩展林隙是以冠空隙周围树木为界所围成的空间面积。由于它们在全面认识森林结构动态变化方面具有的特殊重要意义,目前这两种概念均被广泛应用。运用样线调查法,沿4条不同海拔高度样线穿行的总距离为3829.5m,线路上出现的林隙数总计81个,也即,平均每穿行100m,会遇到2.115个林隙,林隙的线状密度为21.15个/km。在调查样线上,处于扩展林隙中的线段总计1127.9m,也就是说扩展林隙在整个林分中所占的比例平均为 $1127.9/3829.5=29.45\%$,这个比例可以近似地理解为扩展林隙面积在林分面积中所占的百分比^[22]。在所调查的81个林隙中,冠空隙的平均面积 $A_{CG}=93.60\text{m}^2$,而扩展林隙的平均面积 $A_{EG}=174.34\text{m}^2$,冠空隙和扩展林隙的相对比例平均为 $A_{CG}/A_{EG}=53.69\%$ 。所以,冠空隙在整个林分中所占的平均比例为 $29.45\%\times 53.69\%=15.81\%$ 。

2.1.2 暗针叶林林隙的干扰频率 在3829.5m的样线上遇到的81个林隙中最老的林隙是68a,最年轻的林隙是1a,林隙的形成速率平均为 $81/3.8295/(68-1)=0.32\text{个}/(\text{km}\cdot\text{a})$ 。其中,扩展林隙的形成速率为 $1127.9/3.8295/(68-1)=4.4\text{m}/(\text{km}\cdot\text{a})$,冠空隙的形成速率为 $4.7\times 53.69\%=2.36\text{m}/(\text{km}\cdot\text{a})$ 。以上分析表明:在暗针叶林中,平均每年约有0.44%的面积转化为扩展林隙,约有0.24%的林冠面积转化为冠空隙,平均每年每公里上约有0.32个林隙出现,其中每年处于扩展林隙中的线段长平均每公里约有4.40m,而处于冠空隙中的线段长平均每公里有2.36m。照此计算,林隙干扰的周期为 $1/0.24\%=416.7\text{a}$ 。

2.2 林隙的大小结构

林隙的大小是林隙的重要特征,直接影响林隙内光照和其它小气候因子的状况,进而对树种生长与更新发生作用^[9, 11, 13, 23]。根据林隙的两种不同定义,以 50m^2 为级别,采用上限排外法统计各级内出现的林隙数和相对百分比以及各级面积总和所占百分比,统计结果见表1、2。由表1可知,长白山暗针

表1 长白山暗针叶林林冠空隙(CG)大小结构

Table 1 Size structure of CG in dark coniferous forest in Changbai Mountain Areas

CG 级 Size(m ²)	冠空隙数 Numbers of CG	冠空隙面积 CG area (m ²)	冠空隙数 CG number (%)	面积 Area (%)
<50	26	899.2	32.10	11.86
50~100	29	2183.9	35.80	28.80
100~150	10	1180.9	12.36	15.57
150~200	10	1646.7	12.35	21.72
200~250	4	999.8	4.94	13.19
250~300	0	0	0.00	0.00
>300	2	671.5	2.47	8.86
∑	81	7582.0	100	100.00

表2 长白山暗针叶林扩展林隙(EG)大小结构

Table 2 Size structure of EG in dark coniferous forest in Changbai Mountain Areas

EG 级 Size(m ²)	扩展林隙数 Numbers of EG	扩展林隙 面积 EG area (m ²)	扩展林隙数 EG number (%)	面积 Area (%)
<50	2	88.2	2.47	0.62
50~100	22	1659.6	27.16	11.76
100~150	16	2032.0	19.75	14.39
150~200	16	2859.8	19.75	20.26
200~250	6	1362.7	7.41	9.65
250~300	9	2495.4	11.11	17.68
300~350	6	1917.3	7.41	13.58
350~400	1	375.3	1.23	2.66
400~450	2	844.6	2.47	5.98
450~500	1	482.3	1.24	3.42
∑	81	14117.2	100	100.00

表3 长白山暗针叶林林隙的形成方式

Table 3 The manners of gap formation in dark coniferous forest in Changbai Mountain Areas

形成方式	林隙数 Numbers	林隙数 % Gap
Manners of formation	of gaps	number %
风倒 Uprooting	63	77.78
风折 Breakage at trunk	4	4.94
风倒+风折 Uprooting + breakage at trunk	3	3.70
风倒+枯立 Uprooting + standing death	8	9.88
枯立 Standing death	3	3.70
∑	81	100

叶林中冠空隙的面积数据<100 m²的居多,占总冠空隙数量的167.90%,>200 m²的冠空隙很少(占总林隙数量的7.4%)。从面积百分比来看,50~100 m²的冠空隙面积最大(占28.80%),250 m²以上的所占面积

最小,仅占 8.86%。长白山暗针叶林的扩展林隙(见表 2)面积大多数在 50~350m² 之间(占 87.32%),小于 50m² 和大于 350 m² 的扩展林隙较少(仅占 12.68%)。冠空隙平均约为扩展林隙面积的 53.69%。在所调查的 81 个林隙中扩展林隙的最小面积为 43.6 m²,最大面积为 482.3 m²,平均为 174.29 m²;而冠空隙的最小面积为 17.9m²,最大为 340.3 m²,平均为 93.6 m²。以上说明,长白山暗针叶林林隙属小林隙型,是森林更新演替的必要过程,进一步揭示了长白山暗针叶林是比较稳定的森林群落。

2.3 暗针叶林林隙的形成方式

在长白山暗针叶林中,最常见的林隙形成方式有风倒、风折和枯立。同一林隙中既可以为一种方式的形成木形成,也可以是几种方式的形成木共同形成。表 3 是长白山暗针叶林形成的林隙形成方式统计表,可以看出:长白山暗针叶林林隙形成的主要方式是风倒,风倒林隙占全部林隙的 77.78%,其它形成方式较为次要。

2.4 单个林隙形成木的数量特征

森林中林隙,有时由一株形成木形成,有时由多株形成木共同形成。对长白山暗针叶林林隙形成木(Gap maker)的数量特征统计结果见表 4。统计结果表明:有 3 株形成木形成的林隙最多,占 30.86%,由 2 株、4 株和 5 株形成的林隙各占 14.82%,由 6 株形成的林隙占 11.11%,其它株数形成的林隙数量较少(合计仅占 13.58%)。可见,在长白山暗针叶林中,绝大多数的林隙是由 2~6 株形成木所形成的。调查发现,林隙中一般有 1~3 株真正的林隙制造木,其它林隙形成木多是上层倒木的受害者。

2.5 林隙的年龄结构

林隙的年龄结构是指从林隙开始形成至调查时为止的年数。在单株形成的林隙中,林隙的年龄就是林隙形成木形成林隙开始至调查时的年龄;而对于有多株形成木形成的林隙,林隙年龄以最早一株形成木形成林隙到现在的时间计算。以 10a 为龄级统计不同龄级内的林隙数,结果见表 5。表 5 表明 10~40a 前这段时间形成的林隙较多,特别是 20~30a 期间形成的林隙最多。其它阶段形成的林隙较少。这说明:长白山暗针叶林在 20~30a 前曾受到过较大的干扰,具体原因有待进一步分析研究。10~20a 和 30~40a 期间的林隙数比例基本稳定在 20%左右,40a

表 4 长白山暗针叶林单个林隙形成木的数量及其对应林隙频数

Table 4 Numbers of gap makers in each individual gap and the frequency of gaps in dark coniferous forest in Changbai Mountain Areas

形成木数	林隙数	林隙数 %
Numbers of gap makers	Numbers of gaps	Gap number %
1	4	4.94
2	12	14.82
3	25	30.86
4	12	14.82
5	12	14.81
6	9	11.11
7	2	2.47
8	4	4.94
9	1	1.23
Σ	81	100

表 5 长白山暗针叶林林隙的年龄结构统计

Table 5 Estimation for age structure of gaps in dark coniferous forest in Changbai Mountain Areas

年龄级	林隙数	林隙数 %
Age class (a)	Numbers of gaps	Gap number %
<10	7	8.64
10~20	18	22.23
20~30	25	30.86
30~40	16	19.75
40~50	8	9.87
50~60	6	7.41
>60	1	1.24
Σ	81	100

表 6 长白山暗针叶林林隙形成木的组成结构

Table 6 Species composition structure of gap makers in dark coniferous forest in Changbai Mountain Areas

树种	株数	株数 %
Species	Number of individuals	Number %
白桦 <i>Betula platyphylla</i>	16	4.88
红松 <i>Pinus koraiensis</i>	3	0.92
花楷槭 <i>Acer ukurunduense</i>	4	1.22
岳桦 <i>Betula ermanii</i>	18	5.49
枫桦 <i>Betula costata</i>	6	1.83
大青杨 <i>Populus ussuriensis</i>	3	0.91
鱼鳞云杉 <i>Picea jezoensis</i>	70	21.34
臭冷杉 <i>Abies nephrolepis</i>	111	33.84
落叶松 <i>Larix olgensis</i>	84	25.61
其他 Other species	13	3.96
Σ	328	100

之前形成的林隙比例逐渐减少,60a 之前形成的林隙十分稀少。说明林隙形成 40a 后,逐渐开始由更新的幼树填充,而到 60a 后,大部分林隙都已无法辨认,逐步

结束林隙状态。近 10a 长白山暗针叶林林隙比例较低(8.64%)可能是由于风灾较少的缘故。

2.6 林隙形成木的特征

林隙形成木的特征是指林隙形成木的组成结构、径级结构和高度结构,其直接或间接地影响着林隙的环境特征及树种的更新。所以进行暗针叶林林隙形成木特征的研究对全面认识森林生态系统动态过程的基本原理具有重要意义。

2.6.1 林隙形成木的组成结构 林隙形成木的组成结构是指形成林隙的树种及其比例。把在暗针叶林中所调查的 81 个林隙作为一个总体,林隙形成木的组成统计结果见表 6。从表 6 可以看出,构成林隙形成木的主要树种是臭冷杉、落叶松和鱼鳞云杉,其它树种所占比例较小。

表 7 长白山暗针叶林林隙形成木的径级结构

Table 7 Diameter class structure of gap makers in dark coniferous forest in Changbai Mountain Areas										
树种 Species	径级 Diameter class(cm)									Σ
	<10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80	≥80	
白桦 <i>Betula platyphylla</i>	1	5	9	1						16
红松 <i>Pinus koraiensis</i>				3						3
花楷槭 <i>Acer ukurunduense</i>		2	2							4
岳桦 <i>Betula ermanii</i>	1	8	9							18
枫桦 <i>Betula costata</i>				4	2					6
大青杨 <i>Populus ussuriensis</i>		3								3
鱼鳞云杉 <i>Picea jezoensis</i>		4	18	24	19	3			2	70
臭冷杉 <i>Abies nephrolepis</i>	2	71	29	5	4					111
落叶松 <i>Larix olgensis</i>		9	28	19	16	1	9	2		84
其他 Other species			10				3			13
Σ	3	102	105	56	41	4	12	2	2	328

2.6.2 林隙形成木的径级结构 林隙形成木的径级结构是指形成林隙的各树种在不同径级上的株数分配比例。以 10cm 作为一个径级单位(上限排除法),各树种在不同的径级内的株数统计结果见表 7。从表 7 中可以看出,各林隙形成木在不同径级中的株数分配比例不同,但它们都以 50cm 以下为多。调查发现,在暗针叶林中,主林层的主要树种大多在达到 20cm 以上才开始倒伏,20cm 以下的林隙形成木大多是由于主林层树木倒下时的受害者。由于 50cm 以上径级的树木个体相对很少,故由这些大径级木形成的林隙较少。

2.6.3 林隙形成木的高度结构 林隙形成木的高度结构是指形成林隙的各树种在不同高度级内的株数分布情况。将所调查的 81 个林隙作为总体,统计各树种在各高度级内的株数,其结果见表 8。从表 8 中可以看出,大多数树种形成林隙时的高度是在 20~30m 以上。大部分的树种是在进入主林层后才能创造林隙。一般来说,上层的林隙形成木是林隙的真正制造者,下层部分林隙形成木是由于上层形成木折倒时受机械损伤或小气候的剧烈改变以及竞争中的自然淘汰而引起的。

表 8 长白山暗针叶林林隙形成木的高度结构

Table 8 Height structure of gap makers in dark coniferous forest in Changbai Mountain Areas

树种 Species	高度级 Height class(m)					Σ
	<15	15~20	20~25	25~30	≥30	
白桦 <i>Betula platyphylla</i>	3	2	5	6		16
红松 <i>Pinus koraiensis</i>				2	1	3
花楷槭 <i>Acer ukurunduense</i>	4					4
岳桦 <i>Betula ermanii</i>	3	4	7	4		18
枫桦 <i>Betula costata</i>			4	2		6
大青杨 <i>Populus ussuriensis</i>	2	1				3
鱼鳞云杉 <i>Picea jezoensis</i>			15	42	13	70
臭冷杉 <i>Abies nephrolepis</i>	6	44	31	30		111
落叶松 <i>Larix olgensis</i>	6	3	1	34	40	84
其他 Other species			10	1	2	13
Σ	24	54	73	120	56	328

3 讨论

- 3.1 长白山暗针叶林林隙以小林隙为主,林隙年龄一般不超过 60a,林隙形成 40a 后,逐渐开始由更新的幼树填充,而到 60a 后,大部分林隙已无法辨认,逐步结束林隙状态。可以认为,长白山暗针叶林目前处于比较稳定的顶极状态,林倒林隙是林分更新维持的必然过程。
- 3.2 林隙形成木的数量一般以林隙中倒木的数量决定,但在调查中发现,在比较多林隙形成木的林隙中,只有部分林隙形成木是林隙的真正形成木,其它为上层倒木倒下时受害的下层小树木,对林隙生境的改善作用较小。建议在今后的调查中能对林隙真正形成木和受害木加以区别,这样更容易分析比较林隙干扰的强度。
- 3.3 目前为止,林隙年龄的判定无论国际国内均没有很好的方法,本次调查所采用的方法仅能大致反应林隙的年龄,很难精确反应林隙的真实年龄。
- 3.4 长白山暗针叶林林隙状况随着海拔高度的变化而表现出一定差异(见表 9)。表 9 表明,随着海拔的升高,林隙的线状密度越来越大,从海拔 1150m 到海拔 1750m,林隙的线状密度增加了 41%;林隙面积在林分中的比例也不断增加,冠空隙比例增加了 85%,扩展林隙比例增加了 72%。从单个林隙的面积来看,除苔藓红松云杉林(海拔 1150 处)单个林隙略大于海拔 1350m 处的林隙外(可能由于暗针叶林分布下限高大的红松比例较高的缘故),也基本呈增加趋势,这也说明,海拔 1350m 附近,是暗针叶林的最适分布区。调查还发现,随着海拔升高,暗针叶林的树种组成、干扰方式和林分内状况也存在很大差异,需要深入研究。

表 9 长白山暗针叶林林隙随海拔高度的变化

Table 9 Gap variation along with the elevation in dark coniferous forest in Changbai Mountain Areas					
海拔高度 Altitude (m)	单个 CG 面积 Single CG area (m ²)	单个 EG 面积 Single EG area (m ²)	CG 所占比例 CG coverage (%)	EG 所占比例 EG coverage (%)	林隙线状密度 Gap linear density (gaps/km)
1150	69.83	142.94	9.04	18.50	16.88
1350	54.10	112.06	9.43	19.52	19.90
1550	106.58	178.72	15.18	25.46	21.76
1750	112.49	214.53	16.70	31.85	23.77

参考文献

[1] Liu S E(刘慎謩). Issues on the forest regeneration in Daxing'anling areas. *Scientia Silvae Sinicae*(in Chinese)(林业科学),1957,(3):263~282.

[2] Wang Z(王战). Opinions on the natural regeneration and cut-over manners of dark coniferous forests in Xiaoxing'anling areas. *Scientia Silvae Sinicae*(in Chinese)(林业科学),1957,(3):281~288.

[3] Bai Y Q(白云庆). A case study on the age structure of natural dark coniferous forests in Xiaoxing'anling areas. *Workshop Offprint of Existing Forest Management*(in Chinese)(现有林经营专题讨论会选刊),1965.

[4] Li W H(李文华). The basic distribution laws and mathematical models of dark coniferous forests in Eurasia. *Journal of Natural Resources*(in Chinese)(自然资源),1979,(1):21~34.

[5] Li W H(李文华),Deng K M(邓坤枚),Shao B(邵彬),et al. Studies on the community characteristics of dark coniferous forest of Changbai Mountain. *Researches on Forest Ecosystem*. 1995, 7: 1~15.

[6] Chen D K(陈大珂). Comments on the system origination of dark coniferous forests. *Journal of North-East Forestry University*(in Chinese)(东北林学院学报), 1982,10(Supplement):1~17.

[7] Hao Z Q(郝占庆),Wu G(吴钢),Deng H B(邓红兵),et al. Community characteristics of dark coniferous forest on north slope of Changbai Mountain. *Acta Ecologica Sinica*(in English)(生态学报),2000,20(6):916~921.

[8] Denslow J S. Canopy gap in forest ecosystems; an introduction. *Canadian Journal of Forest Research*, 1990, 20(5):619.

[9] Canham, C. D. Light regimes beneath closed canopies and tree-fall gaps in temperate and tropical forests. *Canadian Journal of Forest Research*, 1990, 20(5):620~631.

[10] Lawton R O and F E Putz. Natural disturbance and gap-phase regeneration in a wind-exposed tropical cloud forest. *Ecology*, 1988, **69**(3):764~777.

[11] Poulson T L and W J Platt. Gap light regimes influence canopy tree diversity. *Ecology*, 1989, **70**(3):553~555.

[12] Runkle J R. Comparison of methods for determining fraction of land area in treefall gaps. *For. Sci*, 1985, **31**: 15~19.

[13] Runkle J R. Gap dynamics in an Ohio Acer-Fagus forest and speculations on the geography of disturbance. *Can. J. For. Res.*, 1990, **20**: 632~641.

[14] Ruukle J R. Gap regeneration in some old-growth forests off the eastern United States. *Ecology*,1981, **62**: 1021~1051.

[15] Whitmore T C. Gaps in the forest canopy. In: P B Tomlinson and M H Zimmerman (eds). *Tropical trees as living systems*. London: Cambridge University Press, 1978. 639~655

[16] Xi W M(奚为民). Study on edge effect of the forest communities in Jinyun Mountain. *Acta phytoecologica Sinica* (植物生态学与地植物学学报),1993,**17**(3):232~242.

[17] Qin Z S(秦自生),Taylor A H(艾伦·泰勒),Sun C R(孙成仁),*et al.* Study on tree regeneration after bamboo dieback in Abies plus Betula forests in the Wolong Natural Reserve, Sichuan. *Acta Ecologica Sinica*(in Chinese) (生态学报),1994,**14**(Supplement):36~41.

[18] Zang R G(藏润国). Gap disturbance regime in a broadleaved-Korean pine forest in the Changbai Mountain Natural Reserve. *Acta phytoecologica Sinica*(in Chinese)(植物生态学报),1998,**22**(2):135~142.

[19] Hou X Y(侯向阳),Han J X(韩进轩),Yang H X(阳含熙). The growth of canopy trees and gap dynamics of Korean-pine forests in Changbai Mountain. *Acta Ecologica Sinica*(in Chinese)(生态学报),2000,**20**(1):68~72.

[20] Wu G(吴刚). Characteristics of gap in Korean pine broadleaved forests in Changbai Mountain. *Chinese Journal of Applied Ecology*(in Chinese)(应用生态学报),1997,**8**(4):360~364.

[21] Wu G(吴刚). Regeneration dynamics of tree species in gaps of Korean pine broadleaved mixed forest in Changbai Mountain. *Chinese Journal of Applied Ecology*(in Chinese)(应用生态学报),1998,**9**(5): 449~452.

[22] Zang R G(藏润国),Liu J Y(刘静艳),Dong D F(董大方). *Gap dynamics and forest Biodiversity*(in Chinese). Beijing:China Forestry Publishing House,1999.

[23] White P S And S T Pickett. Natural disturbance and patch dynamic: an introduction. In: *The ecology of natural disturbance and patch dynamics*. Academic Press, 1985.