

地形对小兴安岭阔叶红松 (*Pinus koraiensis*) 林粗木质残体分布的影响

刘妍妍, 金光泽*

(东北林业大学林学院, 哈尔滨 150040)

摘要:以小兴安岭典型阔叶红松林大面积固定样地(9hm²)为对象,分析不同地形下粗木质残体(CWD)的数量、存在形式、腐烂程度,探讨其与主要地形因子的相互关系。随着坡位的上升,CWD的密度和胸高断面积逐渐增加;从阴坡、半阴、半阳到阳坡,CWD的密度、胸高断面积和体积都呈现递减的趋势;CWD的数量分布随着样方坡度的增加没有呈现出明显的趋势。对不同地形下CWD的分布进行 χ^2 检验,各地形因子对CWD密度分布均差异显著,山脊、阴坡和坡度16~25°分别是CWD易发生的地形。在不同的地形中,CWD主要以干基折断、干中折断和枯立木3种形式存在。从谷地到山脊以拔根倒存在的CWD密度、胸高断面积和体积呈逐渐减少的趋势,而干中折断、根桩、枯立木和干基折断的密度大体上表现出增加的趋势;拔根倒的密度随坡度的上升逐渐减少,而枯立木则增加;由阳坡到阴坡枯立木的密度逐渐减少。不同存在形式的倒木,其树倒方向与坡向和风向均没有显著的相关性($p > 0.05$)。不同地形下的各腐烂等级的CWD大致呈正态分布,且主要分布在2、3腐烂等级上,说明阔叶红松林不同地形的CWD输入和输出相对稳定。

关键词:粗木质残体;地形;腐烂等级;死亡木;阔叶红松林

文章编号:1000-0933(2009)03-1398-10 中图分类号:Q948 文献标识码:A

Influence of topography on coarse woody debris in a mixed broadleaved-Korean pine forest in Xiaoxing'an Mountains, China

LIU Yan-Yan, JIN Guang-Ze*

School of Forestry, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(3): 1398 ~ 1407.

Abstract: The relationship between coarse woody debris (CWD) number, existing form, decay class and topographic traits were studied in a large permanent plot (9hm²) of a typical mixed broadleaved-Korean pine forest in Xiaoxing'an Mountains. The CWD density and basal area increased with the topographic position rising; The density, basal area and volume of CWD trended to decrease from north to south slope. There was no clear pattern between the number of CWD and sampled slope. A χ^2 -test showed that topography significantly affected density of the CWD. CWD was liked to occur on ridge, north slope and slope degree of 16—25°. The CWD was mainly composed of uprooted blow-down, breakage at rootstock and breakage at trunk depending on topography. The density, basal area and volume of uprooted blow-down decreased from valley to ridge, but the density of other existing forms showed an opposite pattern; The density of uprooted blow-down decreased with slope degree rising, while that of the standing entire dead trees increased; The density of standing entire dead trees decreased from north to south slope. The falling direction of CWD were not correlated with the aspect and wind direction ($p > 0.05$). The decay classes of CWD were largely normally distributed with a peak on the decay class 2 and 3, suggesting that the input and output of CWD was largely balanced in the mixed broad-leaved Korean

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30770350);黑龙江省自然科学基金重点资助项目(ZJN0706);国家林业科技支撑计划资助项目(No. 2006BAD03A0702)

收稿日期:2008-08-16; 修订日期:2008-12-01

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: taxus@126.com

pine forest.

Key Words: coarse woody debris; topography; decay class; dead wood; mixed broadleaved-Korean pine forest

地形是为植物群落提供生境多样性的最重要的环境梯度之一,植被格局与地形格局密切相关^[1]。地形通过地貌过程影响土壤的水、热及养分的再分配,进而对植被产生直接的空间再分配,它是左右林分发展和演替的重要因子。林分组成成分的生长和死亡都是森林生态系统动态过程的重要特征。树木死亡后留下的粗木质残体(coarse woody debris, CWD)存在于许多天然森林生态系统中,参与能量流动和养分循环^[2,3],影响土壤和沉积物质的运输和储藏^[4],为幼苗的更新提供适宜场所^[5],CWD 的产生还能增加林地的空间异质性,进而影响着林地地貌的形成^[6]。这些重要的生态作用使 CWD 成为森林的主要结构^[7]。

国外对 CWD 的研究主要集中在欧洲瑞典和挪威温带针叶林^[8-11]、美洲温带针阔混交林^[12]和阔叶林^[13,14]以及澳大利亚的热带雨林^[5,15,16],他们的研究大多针对 CWD 的功能,并且强调了合理管理 CWD 对生物多样性的保护有积极的影响。国内的有关研究主要集中在长白山针阔混交林^[17,18]、鼎湖山季风常绿阔叶林^[19,20],从 CWD 的数量特征及分布、分解动态、对天然更新等几个方面进行了研究。在过去几十年内,有关 CWD 的研究虽然受到了广泛的重视,但大部分局限在较小的空间尺度,而较小尺度下的研究因受研究方法的限制,很难合理地揭示 CWD 发生的生态学现象和规律。地形因子作为一个重要的环境要素,它对 CWD 的产生及影响是不容忽视的。但是现阶段,将两者结合所进行的研究尚少。

阔叶红松林是我国东北东部地区的地带性顶极植被类型,但是由于过度采伐,原生植被仅分布于几个保护区和国家森林公园。而 CWD 是阔叶红松林生态系统中的重要组成部分,它的存在对阔叶红松林的稳定和发展有很大影响。地形通过地貌作用对植被产生直接影响,它还通过形态的变化控制空间的再分配。因此,本文依托于小兴安岭典型阔叶红松林 9hm²固定样地,主要探讨(1)CWD 在不同地形下的分布;(2)地形因子对 CWD 存在形式的影响;(3)不同地形下 CWD 腐烂等级的分布,揭示 CWD 与地形因子的关系。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究地区概况

本研究实验地设在黑龙江凉水国家级自然保护区(N47°10'50"、E128°57'20")。该保护区位于黑龙江省伊春市,属小兴安岭南部达里带岭支脉的东坡。地形比较复杂,最高山脉海拔 707.3m。境内密被森林,森林覆被率 96%,现有原始成过熟林面积 4100hm²,其中红松林面积占 80%,蓄积量 1 000 000m³。境内森林类型不仅多样,而且物种丰富,是我国现有保存下来的较大片原始红松林基地之一。本研究所选的样地位于保护区的中段,从凉水沟谷地到海拔 600m 的中山山脊,以红松(*Pinus koraiensis*)为优势种,与其他阔叶树种椴树(*Tilia amurensis* & *T. mandshurica*)、枫桦(*Betula costata*)、水曲柳(*Fraxinus mandshurica*)、五角槭(*Acer mono*)等一起构成的密集成片的典型阔叶红松林。

本地区属温带大陆性夏雨季气候。冬长夏短,春秋两季,气候多变。春季多大风、降水少,易发生干旱。由于纬度较高,太阳辐射较少,年均气温较低,只有 -0.3℃ 左右。年均最高气温 7.5℃;年均最低气温 -6.6℃。本地区常发生偏南大风,春、夏多西南风;秋、冬多西北风。

1.2 研究方法

1.2.1 CWD 的基础特征调查

本研究在凉水自然保护区 9hm²的阔叶红松林永久性固定样地上进行^[21],将样地设成 900 个 10m × 10m 的小样方采用相邻网格法调查。具体步骤如下:

(1) CWD 胸高直径和中央直径的调查 对样地内所有胸高直径 ≥ 2cm 的 CWD 进行调查,测量立木形式 CWD 的胸高直径;对倒伏的 CWD,测量其中央直径和胸高直径。

(2) 确定 CWD 的存在形式 拔根倒(连根拔起的死亡木)、干基折断(折断的站杆高度 < 1m)、干中折断

(折断的站杆高度 $\geq 1\text{m}$)、根桩(与枯立木的其它特征相似,长度 $< 1\text{m}$)、枯立木、树段(大的枯枝和无头无尾的死木)。

(3) 测量 CWD 的长度(高度) (采用 Vertex III 超生波测高仪进行长度和高度的测定);鉴别种;并钉铝制树牌进行编号($DBH < 8\text{cm}$ 的挂牌, $DBH > 8\text{cm}$ 的钉树牌,高度腐烂的不钉牌);对倒伏形式 CWD 进行树倒方向的测量。

(4) 腐烂等级的划分 倒木腐烂划分采取 Carmona 在 Sollins 和 Spies 分类的基础上增加了树叶、主干形状等指标的更为简便的 5 级分类系统^[22]。

1.2.2 微地形调查

将每个 $10\text{m} \times 10\text{m}$ 的样方划分成四个 $5\text{m} \times 5\text{m}$ 小样方,调查每个小样方的坡位,坡向,坡度。其中坡位分为:谷地、下坡、上坡和山脊;坡向分为:阴坡($337.5 \sim 22.5^\circ$, $22.5 \sim 67.5^\circ$),半阴坡($67.5 \sim 112.5^\circ$, $292.5 \sim 337.5^\circ$),平地,半阳坡($112.5 \sim 157.5^\circ$, $247.5 \sim 292.5^\circ$)和阳坡($157.5 \sim 247.5^\circ$)5 个等级;坡度分为: $< 6^\circ$, $6 \sim 15^\circ$, $16 \sim 25^\circ$, $> 25^\circ$ 4 个等级(图 1)。

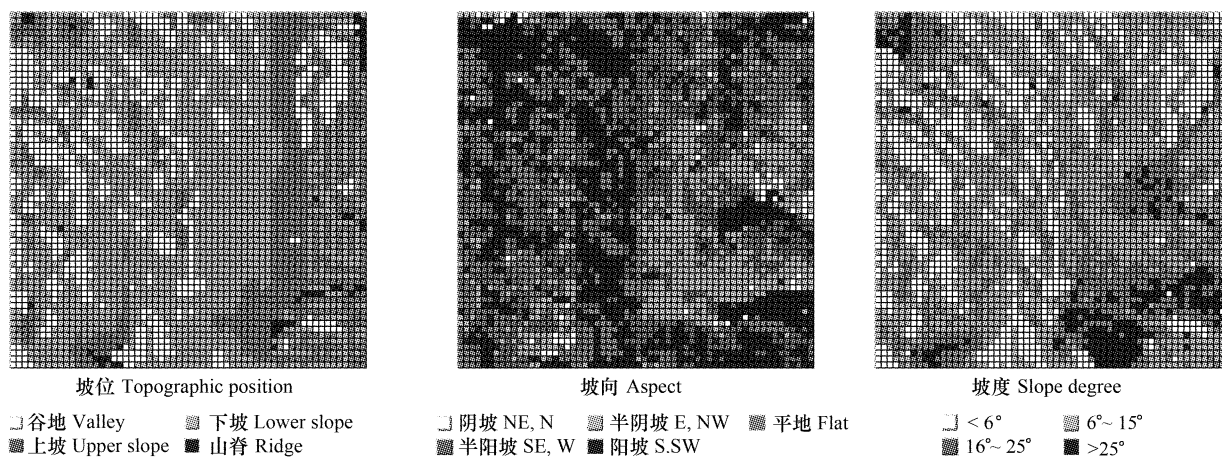


图 1 9hm^2 固定样地的坡位、坡向、坡度分布图

Fig 1 Maps of topographic position, aspect and slope degree distribution in the 9hm^2 study site

每个栅格代表 $5\text{m} \times 5\text{m}$ 小样方 Each square corresponds to one $5\text{m} \times 5\text{m}$ quadrat

1.2.3 数据分析

利用 χ^2 检验,分析不同坡位、坡向及坡度等地形条件下,CWD 的密度、胸高断面积和体积分布的规律。利用 Pearson 检验对 CWD 的倒向与坡向进行了相关性分析;用 t 检验对树倒方向与风向进行了单样本方差 t 检验。在进行相关性的检验过程中,将树倒方向、坡向和风向划分为 8 个等级进行分析,即:1($337.5 \sim 22.5^\circ$)、2($22.5 \sim 67.5^\circ$)、3($67.5 \sim 112.5^\circ$)、4($112.5 \sim 157.5^\circ$)、5($157.5 \sim 202.5^\circ$)、6($202.5 \sim 247.5^\circ$)、7($247.5 \sim 292.5^\circ$)、8($292.5 \sim 337.5^\circ$)。CWD 体积的计算参考了部颁东北地区主要乔木树种二元材积公式^[23]。

2 结果与分析

2.1 CWD 在不同地形下的分布

不同坡位下 CWD 的分布不同(表 1)。谷地、下坡、上坡和山脊 CWD 密度分别为 $(363 \pm 17.23)\text{N} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $(364 \pm 10.25)\text{N} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $(417 \pm 17.47)\text{N} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $(626 \pm 90.48)\text{N} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。谷地的 CWD 密度最低,山脊最高,随着样地坡位的上升,CWD 的密度有逐渐增加的趋势。胸高断面积的分布也呈现了相同的趋势,最高的胸高断面积仍然出现在山脊($(23.95 \pm 7.43)\text{m}^2 \cdot \text{hm}^{-2}$)。但是 CWD 的体积却没有表现出同密度和胸高断面积相同的趋势。上坡的 CWD 体积最大($(102.53 \pm 12.25)\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$),山谷的 CWD 体积最小($(76.80 \pm 10.44)\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)。位于山脊部分的 CWD 虽然密度和胸高断面积都比较大,但是坡位较高导致折断的部分滚落到地

势较平缓的位置,所以山脊的 CWD 的体积分布不是最大。对不同坡位下 CWD 的密度、胸高断面积和体积进行了 χ^2 检验,结果表明不同坡位 CWD 的密度分布差异极显著,胸高断面积和体积分布不显著,即山脊是 CWD 高密度发生坡位。

从坡向上来看,不论是密度、胸高断面积还是体积,阴坡的 CWD 分布最高。从阴坡、半阴半阳到阳坡 CWD 的密度、胸高断面积和体积呈现了递减的趋势。对不同坡向下的 CWD 的密度、胸高断面积和体积进行 χ^2 检验。结果表明:不同的坡向上 CWD 的密度和体积分布差异显著,胸高断面积差异不显著。从密度和体积检验的结果综合来看,CWD 主要分布在阴坡和半阴坡。

CWD 的数量分布随着样方坡度的增加没有呈现出明显的趋势。最大的密度($(421 \pm 18.33) \text{ N} \cdot \text{hm}^{-2}$)、胸高断面积($(17.77 \pm 1.62) \text{ m}^2 \cdot \text{hm}^{-2}$)和体积($(97.41 \pm 13.32) \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)都分布在 $16 \sim 25^\circ$ 的坡度等级上。经 χ^2 检验,不同的坡度上 CWD 的密度分布差异显著、而胸高断面积和体积在各个地形下的分布却不显著。从密度上来看,CWD 主要分布在 $16 \sim 25^\circ$ 和 $>25^\circ$ 的坡度上。

表 1 不同地形下 CWD 的数量分布及 χ^2 -检验(5m×5m 样方进行检验)

Table 1 Number of CWD and χ^2 -test on different topography (test for 5m×5m quadrat)

					χ^2 -检验 test				
地形 Topography		密度 Density (N·hm ⁻²)	胸高断面积 Basal area (m ² ·hm ⁻²)	体积 Volume (m ³ ·hm ⁻²)	密度 Density				<i>p</i>
					样方数 Number of plot	观测值 Observed value	平均值 Mean	期望值 Expected value	
坡位	谷地 Valley	363 ± 17. 23	13. 42 ± 1. 34	76. 80 ± 10. 44	717	650	0. 91	680. 75	33. 38 ***
Topographic position	下坡 Lower slope	364 ± 10. 25	15. 84 ± 0. 96	91. 32 ± 8. 05	2004	1824	0. 91	1902. 69	
	上坡 Upper slope	417 ± 17. 47	17. 18 ± 1. 47	102. 53 ± 12. 25	826	861	1. 04	784. 24	
坡向 Aspect	山脊 Ridge	626 ± 90. 48	23. 95 ± 7. 43	95. 45 ± 35. 13	53	83	1. 57	50. 32	
	阴坡 NE,N	542 ± 73. 61	28. 26 ± 7. 01	220. 97 ± 89. 98	65	88	1. 35	61. 71	27. 78 ***
	半阴坡 E,NW	415 ± 19. 74	21. 12 ± 1. 98	140. 28 ± 18. 24	689	714	1. 04	654. 17	
	平地 Flat	359 ± 17. 22	13. 43 ± 1. 41	76. 65 ± 10. 96	669	600	0. 90	635. 18	
	半阳坡 SE,W	395 ± 14. 59	16. 38 ± 1. 33	84. 37 ± 9. 84	1039	1026	0. 99	986. 47	
	阳坡 S,SW	348 ± 13. 51	12. 68 ± 1. 02	68. 43 ± 7. 29	1138	990	0. 87	1080. 47	
坡度(°)	< 6	366 ± 15. 61	14. 09 ± 1. 30	85. 65 ± 10. 11	842	770	0. 91	799. 43	15. 40 ***
Slope degree	6 ~ 15	363 ± 10. 92	15. 94 ± 1. 02	93. 12 ± 8. 68	1752	1590	0. 91	1663. 43	
	16 ~ 25	421 ± 18. 33	17. 77 ± 1. 62	97. 41 ± 13. 32	782	823	1. 05	742. 47	
	> 25	420 ± 35. 73	13. 93 ± 2. 12	73. 15 ± 13. 87	224	235	1. 05	212. 68	

χ^2 -检验 test											
地形 Topography		胸高断面积 Basal area				体积 Volume					
		样方数 Number of plot	观测值 Observed value	平均值 Mean	期望值 Expected value	<i>p</i>	样方数 Number of plot	观测值 Observed value	平均值 Mean	期望值 Expected value	<i>p</i>
坡位	谷地 Valley	717	24. 05	0. 03	28. 29	1. 45	717	137. 66	0. 20	163. 23	7. 02
Topographic position	下坡 Lower slope	2004	79. 34	0. 04	79. 07		2004	457. 53	0. 23	456. 22	
	上坡 Upper slope	826	35. 48	0. 04	32. 59		826	211. 71	0. 26	188. 04	
坡向 Aspect	山脊 Ridge	53	3. 17	0. 06	2. 09		53	12. 65	0. 24	12. 07	
	阴坡 NE,N	65	4. 59	0. 07	2. 56	0. 80	65	35. 91	0. 55	14. 80	97. 05 ***
	半阴坡 E,NW	689	36. 37	0. 05	27. 18		689	241. 64	0. 35	156. 85	
	平地 Flat	669	22. 46	0. 03	26. 40		669	128. 19	0. 19	152. 30	
	半阳坡 SE,W	1039	42. 56	0. 04	40. 99		1039	219. 15	0. 21	236. 53	
	阳坡 S,SW	1138	36. 06	0. 03	44. 90		1138	194. 67	0. 17	259. 07	
坡度(°)	< 6	842	29. 67	0. 04	33. 22	1. 00	842	180. 29	0. 21	191. 68	3. 72
Slope degree	6 ~ 15	1752	69. 83	0. 04	69. 13		1752	407. 85	0. 23	398. 85	
	16 ~ 25	782	34. 74	0. 04	30. 85		782	190. 44	0. 24	178. 02	
	> 25	224	7. 80	0. 03	8. 84		224	40. 97	0. 18	50. 99	

* * * : $p < 0.005$

2.2 地形因子对 CWD 存在形式的影响

阔叶红松林中 CWD 在不同坡位、坡向与坡度下,都是以干基折断、干中折断和枯立木 3 种形式存在。从谷地到山脊以拔根倒存在的 CWD 的密度呈逐渐减少的趋势,胸高断面积和体积也大致有相似的趋势。而干中折断、根桩、枯立木和干基折断的密度大体上表现出了相反的趋势(表 2)。这种规律在坡度上也能看到,即拔根倒的密度随坡度的上升,逐渐减少,而枯立木则增加。这跟本地区谷地的坡度小,而随着坡位的上升,坡度也变大有关。枯立木的分布随着坡向的变化也表现出了一定的规律,随着坡向的转移,由阳坡到阴坡枯立木的密度逐渐的减少。在各个地形因子下,枯立木的密度分布虽然大,但是胸高断面积和体积却均较小,这说明枯立死亡的树木径级都较小,且大部分是由于竞争作用导致的^[24]。其它存在形式的 CWD 在各地形因子下密度、胸高断面积和体积的分布没有表现出明显的变化趋势。

Pearson 相关分析表明,不同存在形式的 CWD 的树倒方向与坡向均没有显著相关性($p > 0.05$)(表 3)。不同存在形式的 CWD 的树倒方向和本地区不同季节的风向单样本的 t 检验结果显示,风向与树倒方向差异极显著($p < 0.01$),即两者没有显著的相关性(表 4)。

2.3 地形对 CWD 腐烂等级分布的影响

不同坡位 CWD 腐烂等级都大致呈正态分布,主要以 2、3 腐烂等级居多,1、4、5 腐烂等级的株数比较少。谷地、下坡和上坡的 CWD 密度,胸高断面积和体积的最大值都出现在 2、3 腐烂等级上。但是,山脊的 CWD 最大密度分布在 2 腐烂等级上,胸高断面积和体积的最大值却分布在 4、5 腐烂等级上(图 2)。

不同坡向的 CWD 腐烂等级也大致呈正态分布(图 3),仍然是 2、3 级较多。但是阴坡的 CWD 分布表现了不同的趋势。在阴坡, CWD 的密度最大值分布在 2、3 腐烂等级上,胸高断面积和体积的最大值分布在 3、4 腐烂等级上。阴坡的水分条件较好,此处的 CWD 分解较快,所以处在较大腐烂级的 CWD 较多。

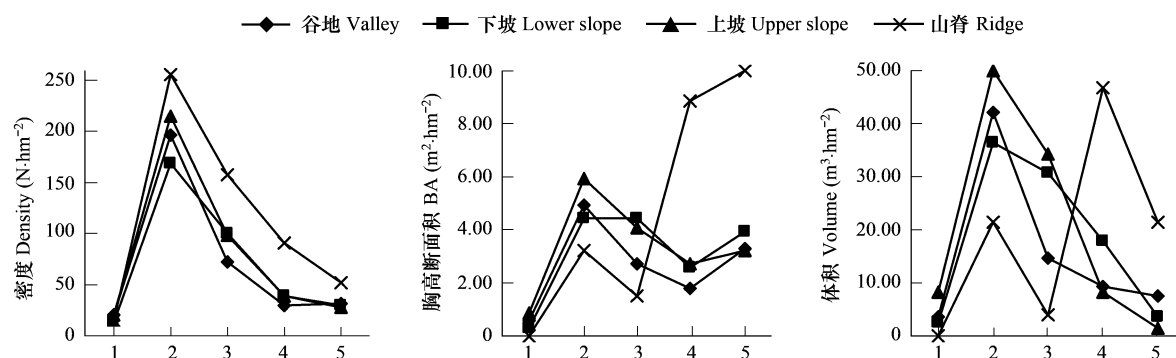


图2 不同坡位 CWD 腐烂级的分布

Fig. 2 Distribution of decay classes of CWD on different topographic position

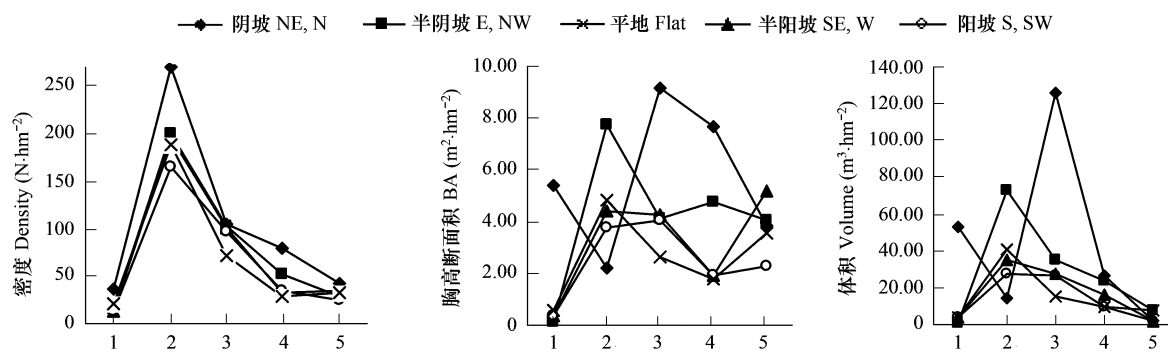


图3 不同坡向 CWD 腐烂级的分布

Fig. 3 Distribution of decay classes of CWD on different aspects

表 2 不同地形下 CWD 各种存在形式的数量分布
Table 2 Number of existing forms of CWD on different topography

死亡方式 Existing form	项目 Item	坡位 Topographic position					坡向 Aspect				坡度 Slope degree				
		谷地 Valley	下坡 slope	Lower slope	上坡 Upper slope	山脊 Ridge	阴坡 NE, N	半阴坡 E, NW	平地 Flat	半阳坡 SE, W	阳坡 S, SW	<6°	6 ~15°	16 ~25°	>25°
拔根倒 Uprooted blow-down	密度 Density (N·hm ⁻²)	45	21	19	15	15	43	31	22	15	23	41	21	25	7
	胸高断面积 BA (m ² ·hm ⁻²)	2.51	0.84	1.44	0.60	0.60	2.56	1.76	1.26	0.50	1.06	2.18	1.09	1.10	0.45
	体积 Volume (m ³ ·hm ⁻²)	24.07	6.80	14.88	1.36	1.36	24.76	16.91	11.86	3.82	9.09	20.78	10.21	9.45	3.29
干基折断 Breakage at rootstock	密度	108	97	98	174	174	97	98	87	114	107	104	93	117	93
	胸高断面积	2.88	4.58	3.80	11.39	11.39	2.63	14.68	3.12	6.46	4.11	3.47	4.50	4.65	2.42
	体积	16.43	38.33	28.40	85.18	85.18	14.23	168.17	22.72	54.54	31.46	21.90	36.21	40.47	17.94
干中折断 Breakage at trunk	密度	66	68	84	91	91	65	86	68	88	65	148	294	161	41
	胸高断面积	3.01	3.80	5.30	0.82	0.82	3.14	3.33	2.93	6.84	3.68	3.51	3.91	4.35	4.38
	体积	28.32	32.86	49.25	3.40	3.40	29.24	24.79	22.22	66.7	33.29	33.26	35.57	37.57	36.93
根桩 Stump	密度	27	29	44	121	121	46	10	73	58	112	27	34	39	34
	胸高断面积	3.15	4.13	4.53	10.18	10.18	3.15	5.22	3.09	4.83	5.32	3.07	3.94	5.64	4.20
	体积	0.20	0.15	0.29	1.87	1.87	0.21	0.03	0.28	0.31	0.10	0.17	0.22	0.26	0.18
枯立木 Standing entire dead tree	密度	71	95	119	181	181	114	29	274	189	264	73	93	110	168
	胸高断面积	0.32	0.85	0.58	0.61	0.61	0.31	0.26	0.77	0.77	0.78	0.43	0.72	0.65	1.37
	体积	2.13	6.47	3.93	2.74	2.74	2.14	0.80	5.69	5.67	5.79	3.11	5.46	4.46	10.56
树段 Trunk segment	密度	46	54	53	45	45	81	14	139	94	142	50	56	49	45
	胸高断面积	1.53	1.64	1.53	0.35	0.35	1.64	3.00	1.50	1.71	1.43	1.43	1.79	1.38	1.11
	体积	5.66	6.71	5.77	0.89	0.89	6.06	10.27	5.66	9.22	4.64	6.43	6.89	5.21	4.24

表 3 树倒方向与坡向的 Pearson 相关关系

Table 3 Pearson correlation coefficient for falling direction and aspect

倒木 Down wood	Pearson 相关系数 Pearson correlation	<i>p</i>
拔根倒 Uprooted blow-down	0.063	0.448
干基折断 Breakage at rootstock	0.069	0.066
干中折断 Breakage at trunk	-0.087	0.158
树段 Trunk segment	-0.033	0.522
合计 Total	0.014	0.575

表 4 树倒方向与风向的单样本 *t* 检验Table 4 Independent *t*-test between falling direction and wind direction

风向 Wind direction	平地 Flat				
	拔根倒	干基折断	干中折断	树段	合计 Total
0° (年平均风向 Mean annual direction)	<i>p</i> = 0.000	<i>p</i> = 0.000	<i>p</i> = 0.000	<i>p</i> = 0.000	<i>p</i> = 0.000
45° (春夏, 西南风 Spring & summer, southwester)	<i>p</i> = 0.000	<i>p</i> = 0.000	<i>p</i> = 0.000	<i>p</i> = 0.000	<i>p</i> = 0.000
135° (秋冬, 西北风 Autumn & winter, northwester)	<i>p</i> = 0.000	<i>p</i> = 0.000	<i>p</i> = 0.000	<i>p</i> = 0.000	<i>p</i> = 0.000

风向 Wind direction	有坡向的地形 Topography with aspect				
	拔根倒	干基折断	干中折断	树段	合计 Total
0° (年平均风向 Mean annual direction)	<i>p</i> = 0.000	<i>p</i> = 0.000	<i>p</i> = 0.000	<i>p</i> = 0.000	<i>p</i> = 0.000
45° (春夏, 西南风 Spring & summer, southwester)	<i>p</i> = 0.000	<i>p</i> = 0.000	<i>p</i> = 0.000	<i>p</i> = 0.000	<i>p</i> = 0.000
135° (秋冬, 西北风 Autumn & winter, northwester)	<i>p</i> = 0.000	<i>p</i> = 0.000	<i>p</i> = 0.000	<i>p</i> = 0.000	<i>p</i> = 0.000

拔根倒 Uprooted blow-down; 干基折断 Breakage at rootstock; 干中折断 Breakage at trunk; 树段 Trunk segment

随着坡度的变化, CWD 密度和体积的最大值都出现在 2、3 腐烂等级上 (图 4)。但是随着腐烂等级的增加胸高断面积在 5 腐烂等级上的分布并不是最小, 而是呈现了增多的趋势。这是由于在此等级上有较粗的根桩存在。

在不同地形下, CWD 不同腐烂等级的密度、胸高断面积和体积主要分布在 2、3 等级是样地内的阔叶红松林处于成熟阶段, 每年的 CWD 输入和输出量相对稳定的结果。

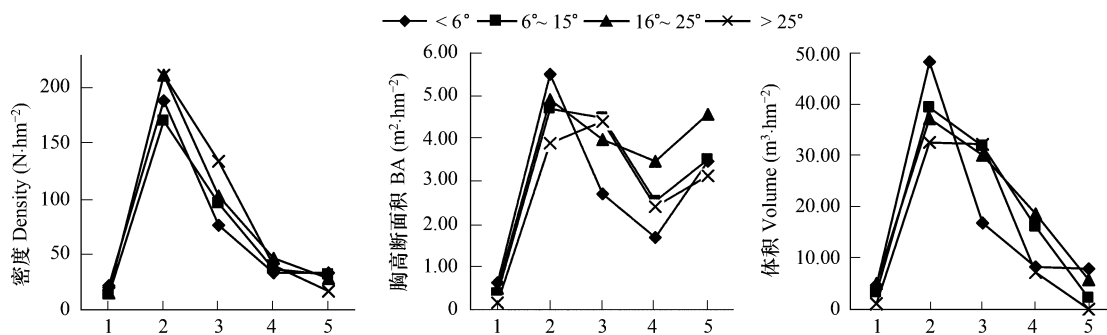


图 4 不同坡度 CWD 腐烂级的分布

Fig 4 Distribution of decay classes of CWD on different slope degree

3 讨论

本研究中, 小兴安岭典型阔叶红松林 CWD 在各地形下密度差异显著 (表 1)。其中山脊、阴坡和 16 ~ 25° CWD 的密度最高, 它们分别是 CWD 易发生的地形。CWD 的密度随着样地坡位的升高而增大, 山脊的 CWD 密度最高, 这与 Gale^[25] 在热带雨林地区研究 CWD 的结果相同。Grove^[15] 在澳大利亚的热带雨林也对 CWD 进行了研究, 他的研究表明 CWD 的体积范围是 $(46.43 \pm 13.06) \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$; Oheimb 等^[26] 在德国东部天然山毛榉林 (*Fagus sylvatica*) 中计算 CWD 体积范围是 $58.7 \sim 119.4 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$; Ranius 等^[10] 在挪威云杉 (*Picea*

abies)林的 CWD 建模研究中,估测了 CWD 体积的范围是 $74 \sim 138 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 。对比这些研究发现,随着纬度的升高,从热带雨林到温带针叶林 CWD 的体积范围大致呈现增加的趋势,本研究得到的 CWD 体积波动在 $76.80 \sim 102.53 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 之间,基本符合这一规律(图 5)。

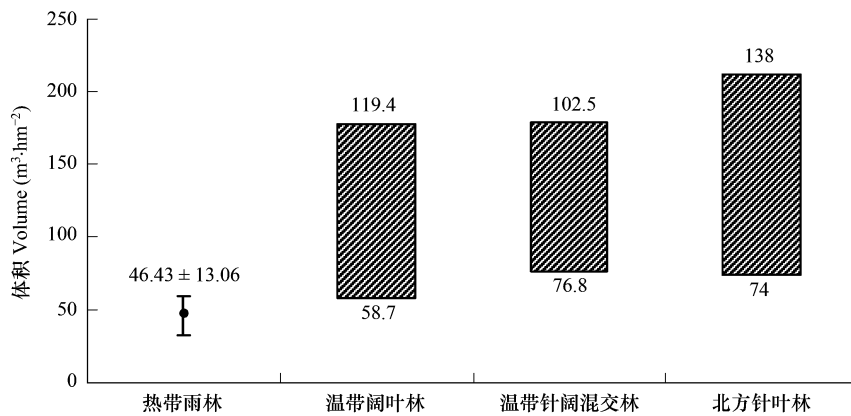


图 5 CWD 在不同植被类型中的体积分布

Fig. 5 Volume of CWD on different vegetation types

热带雨林 Tropical rain forest; 温带阔叶林 Temperate broad-leaved forest; 温带针阔混交林 Temperate needle broad-conifer forest; 北方针叶林 Boreal conifer forest

导致地形间 CWD 数量差异的原因众多,不同坡位、坡向及坡度的组合可以很好地反映多维环境因子水平^[26],这些都会影响到 CWD 在各地形下的分布。地形作为一种异质性因素,它直接影响着植被的立地条件,进而影响整个群落 CWD 的结构和动态^[1]。随着坡位的上升,从谷地到山脊,水分条件逐渐变差,这不利于植被的生长,所以山脊产生的 CWD 数量大;随着坡向的转移,从阳坡到阴坡,虽然阴坡的水分条件比较好,但是光照条件较差,所以 CWD 的数量逐渐增加。进一步研究各地形环境因子的综合作用,如光照、温度和水分条件的交叉作用以及其对组成树种的影响,将有利于解释不同地形对 CWD 数量分布的差异。

CWD 以各种不同的存在形式出现,受地形和其它环境因子强烈的影响^[27]。表 2 表明,不同坡位、坡度与坡向上 CWD 主要存在的方式不同。但是主要以干基折断、干中折断和枯立木这 3 种方式存在(表 2)。罗大庆等^[24]通过研究发现:干基折断是西藏色拉季原始冷杉(*Abies georgei* var. *smithii*) CWD 的主要输入形式;Oheimb 等^[26]在德国东部天然山毛榉林中的研究得出站立死亡的 CWD 大约是总 CWD 数量的 1/3;陈华和徐振邦^[28]在长白山针阔混交林得到了站立和干中折断 CWD 占总 CWD 数量 80% 的结果。总的看来,枯立木和干折是 CWD 主要的存在形式。许多研究表明,枯立木一般是相邻个体之间生存竞争和自然稀疏的结果^[4,24],其死亡现象是逐渐发生的。干基折断和干中折断通常是由于外力干扰而引起的突然死亡,并且大多是枯立木折倒的结果。本研究地区属于温带大陆性季风气候,春季降水少、多大风,所以风是引起树木折倒的主要因素。对不同存在形式的倒木的树倒方向与坡向进行 Pearson 相关性检验,结果是没有显著的相关性($p > 0.05$)(表 3),对树倒方向和风向进行单样本方差 t 检验,结果差异极显著($p < 0.001$)(表 4)。由此可以看出风和地形虽然在促进 CWD 的形成上起到了很大的作用,但是树倒方向并没有与这两个因素呈现显著的关联性,说明 CWD 的倒向可能还与树冠中心等因素有较大关系。

本研究还展示,在不同地形因子下,CWD 呈正态分布,且主要存在 2,3 腐烂等级上(图 2 ~ 图 4)。这种中等腐朽程度 CWD 占多数的现象在其它研究地区也同样出现^[6,15,26],但是这些报道都限于对纯林腐烂等级的研究,而且对于不同地形 CWD 腐烂等级的研究,国内外还少见报道。同时由于划分腐烂等级的分类系统侧重点不同,也使不同的研究者在判断 CWD 腐烂等级时结论有所差异。如 Motta 等^[29]在挪威云杉林的 CWD 研究和 Campbell and Laroque^[30]在胶冷杉(*Abies balsamea*)林和黑云杉(*Picea mariana*)林的研究,他们的结果表明 CWD 主要存在 1,2 腐烂等级上。所以,制定出更客观完善的 CWD 腐烂等级通用划分标准,也是今后研

究的一个重要的突破点。

References:

- [1] Zhang M, Xiong G M, Chen Z G, *et al.* The topography heterogeneity of *Fagus engleriana*-*Cyclobalanopsis oxyodon* community in Shennongjia region. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24 (12): 2687—2692.
- [2] Mackensen J, Bauhus J. The decay of coarse woody debris. National Carbon Accounting System Technical Report No. 6, 1999, 1—41.
- [3] Romero L M, Smith T J, Fourqurean J W. Changes in mass and nutrient content of wood during decomposition in a south Florida mangrove Forest. *Journal of Ecology*, 2005, 93: 618—631.
- [4] Harmon M E, Franklin J F, Swanson J, *et al.* Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems. *Advance in Ecological Research*, 1986, 15: 60—203.
- [5] Woldendorp G, Keenan R J. Coarse woody debris in Australian forest ecosystems; a review. *Austral Ecology*, 2005, 30: 834—843.
- [6] Xu H C. Forest of Daxing'an mountain, China. Beijing: Science Publishing Company House, 1998, 164—182.
- [7] Stutevant B R, Bissonette J A, Long J N, *et al.* Coarse woody debris as a function of age, stand structure, and disturbance in boreal Newfoundland. *Ecological Applications*, 1997, 7 (2): 702—712.
- [8] Fridman J, Walheim M. Amount, structure, and dynamics of dead wood on managed forestland in Sweden. *Forest Ecology and Management*, 2000, 131: 23—36.
- [9] Ekblom B, Martin L S, Larsson S. Stand specific occurrence of coarse woody debris in a managed boreal forest landscape in central Sweden. *Forest Ecology and Management*, 2006, 221: 2—12.
- [10] Ranius T, Jonsson B G, Kruys N. Modeling dead wood in Fennoscandian old-growth forests dominated by Norway spruce. *Canadian Journal of Forest Research*, 2004, 34 (5): 1025—1034.
- [11] Ranius T, Kindvall O, Kruys N, *et al.* Modeling dead wood in Norway spruce stands subject to different management regimes. *Forest Ecology and Management*, 2003, 182: 13—29.
- [12] Hafner S D, Groffman P M. Soil nitrogen cycling under litter and coarse woody debris in a mixed forest in New York State. *Soil Biology & Biochemistry*, 2005, 37: 2159—2162.
- [13] Jenkins M A, Webster C R, Parker G R, *et al.* Coarse woody debris in managed central hardwood forests of Indiana, USA. *Forest Science*, 2004, 50 (6): 781—792.
- [14] Waldien D L, Hayes J P, Huso M M P. Use of downed wood by Townsend's Chipmunks (*Tamias townsendii*) in Western Oregon. *Journal of Mammalogy*, 2006, 87 (3): 454—460.
- [15] Grove S J. Extent and composition of dead wood in Australian lowland tropical rainforest with different management histories. *Forest Ecology and Management*, 2001, 154: 35—53.
- [16] Grove S J. Tree basal area and dead wood as surrogate indicators of saproxylic insect faunal integrity: a case study from the Australian lowland tropics. *Ecological Indicators*, 2002, 1: 171—188.
- [17] Dai L M, Xu Z B, Yang LY, *et al.* Storage dynamics of fallen trees in Korean pine broad-leaved forest. *Journal of Applied Ecology*, 1999, 10 (5): 513—517.
- [18] Dai L M, Xu Z B, Chen H, *et al.* Storage dynamics of fallen trees in a mixed broadleaved and Korean pine forest. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20 (3): 412—416.
- [19] Tang X L, Zhou G Y, Zhou X, *et al.* Coarse woody debris in monsoon evergreen broad-leaved forests of Dinghushan nature reserve. *Acta Phytoecologica Sinica*, 2003, 27 (4): 484—489.
- [20] Tang X L, Zhou G Y. Coarse woody debris biomass and its potential contribution to the carbon cycle in successional subtropical forests of southern China. *Acta Phytoecologica Sinica*, 2005, 29 (4): 559—568.
- [21] Jin G Z, Xie X C, Tian Y Y, *et al.* The pattern of seed rain in the broadleaved-Korean pine mixed forest of Xiaoxing'an Mountains, China. *Journal of Korean Forest Society*, 2006, 95 (5): 621—627.
- [22] Yan E R, Wang X H, Hung J J. Concept and classification of coarse woody debris in forest ecosystems. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25 (1): 158—167.
- [23] Ministry of Agriculture and Forestry of the P. R. of China. Tree Volume Table: LY 208-77. Beijing: Publishing House of Technology Standard, 1978.
- [24] Luo D Q, Guo Q S, Huang J, *et al.* A character study on the dead wood of primeval Abies of Sejila Mountain in Southeastern Tibet. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24 (3): 635—639.

- [25] Gale N. The aftermath of tree death: coarse woody debris and the topography in four tropical rain forests. *Canadian Journal of Forest Research*, 2000, 30 (9): 1489—1493.
- [26] Oheimb G, Westphal C, Hardtle W. Diversity and spatio-temporal dynamics of dead wood in a temperate near-natural beech forest (*Fagus sylvatica*). *European Journal Forest Research*, 2007, 26: 359—370.
- [27] Chantal M, Granstro A. Aggregations of dead wood after wildfire act as browsing refugia for seedlings of *Populus tremula* and *Salix caprea*. *Forest Ecology and Management*, 2007, 250: 3—8.
- [28] Chen H, Xu Z B. Preliminary study on tree death of Korean pine-deciduous mixed forest of Changbai Mountain. *Journal of Applied Ecology*, 1991, 2 (1): 89—91.
- [29] Motta R, Berretti R, Lingua E, *et al.* Coarse woody debris, forest structure and regeneration in the Valbona Forest Reserve, Pan evaggio, Italian Alpas. *Forest Ecology and Management*, 2006, 235: 155—163.
- [30] Campbell L J, Laroque C P. Decay progression and classification in two old-growth forests in Atlantic Canada. *Forest Ecology and Management*, 2007, 238: 293—301.

参考文献:

- [1] 张谧,熊高明,陈志刚,等. 神农架米心水青冈-曼青冈群落的地形异质性及其生态影响. *生态学报*, 2004, 24 (12): 2687~2692.
- [6] 徐化成. 中国大兴安岭森林. 北京: 科学出版社, 1998, 164~182.
- [17] 代力民,徐振邦,杨丽韞,等. 红松阔叶林倒木贮量动态的研究. *应用生态学报*, 1999, 10 (5): 513~517.
- [18] 代力民,徐振邦,陈华. 阔叶红松林倒木贮量的变化规律. *生态学报*, 2000, 20 (3): 412~416.
- [19] 唐旭利,周国逸,周霞,等. 鼎湖山季风常绿阔叶林粗死木质残体的研究. *植物生态学报*, 2003, 27 (4): 484~489.
- [20] 唐旭利,周国逸. 亚热带典型森林演替类型粗死木质残体贮量及其对碳循环的潜在影响. *植物生态学报*, 2005, 29 (4): 559~568.
- [22] 闫恩荣,王希华,黄建军. 森林粗死木质残体的概念及其分类. *生态学报*, 2005, 25 (1): 158~167.
- [23] 中华人民共和国农林部. 立木材积表: LY 208-77. 北京: 技术标准出版社, 1978.
- [24] 罗大庆,郭泉水,黄界,等. 西藏色季拉原始冷杉林死亡木特征研究. *生态学报*, 2004, 24(3): 635~639.
- [28] 陈华,徐振邦. 长白山红松针阔混交林林木死亡的初步研究. *应用生态学报*, 1991, 2 (1): 89~91.