

倒木覆盖对天宝岩国家级自然保护区长苞铁杉林内土壤理化特性的影响

游惠明^{1,2}, 何东进^{1,①}, 刘进山³, 蔡昌棠³, 游巍斌¹, 肖石红¹

(1. 福建农林大学, 福建 福州 350002; 2. 福建省林业科学研究院, 福建 福州 350012; 3. 天宝岩国家级自然保护区, 福建 永安 366032)

摘要: 以天宝岩国家级自然保护区长苞铁杉(*Tsuga longibracteata* W. C. Cheng)林为研究对象,研究了有无倒木覆盖以及倒木腐烂程度对土壤8项理化指标(包括含水量,容重,总孔隙度,有机碳、全N、全P和全K含量以及C/N比)的影响,并比较了经倒木覆盖后不同季节和不同类型林分中土壤8个理化指标的变化。结果显示:与无倒木覆盖的土壤相比,经倒木覆盖后土壤容重降低,总孔隙度及含水量提高,有机碳、全N及全K含量均增加,说明倒木覆盖总体上提高了长苞铁杉林下土壤的肥力,但有无倒木覆盖对土壤理化性质无显著影响。经不同腐烂程度倒木覆盖后土壤有机碳含量有显著差异($P < 0.05$)并随倒木腐烂程度提高大体呈现逐渐升高的趋势,但土壤的其他7个理化指标无显著差异;经中等(Ⅲ级)腐烂倒木覆盖后土壤的全N、全P和全K含量均最高。经倒木覆盖后,不同季节土壤的全P含量无显著变化,而其他7个理化指标在不同季节均有显著变化($P < 0.05$);经倒木覆盖后秋、冬、春、夏土壤容重和全K含量依次增加,总孔隙度和有机碳含量依次降低,土壤含水量在秋季最低、春季则最高。整体来看,在长苞铁杉林的不同类型林分内经倒木覆盖后土壤8个理化指标均有显著差异($P < 0.05$);与供试的4类混交林相比,在长苞铁杉纯林内经倒木覆盖后土壤的含水量、容重和全K含量均最高,总孔隙度最低,有机碳含量相对较低,C/N比及全N和全P含量居中。研究结果表明:在天宝岩国家级自然保护区长苞铁杉林内,倒木覆盖有利于改善土壤理化性质、提高土壤肥力。

关键词: 长苞铁杉林; 倒木覆盖; 土壤理化指标; 腐烂程度; 季节; 林分类型

中图分类号: Q948.113; S714.2 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2013)03-0018-07

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2013.03.03

Effect of covering with fallen logs on soil physicochemical property of *Tsuga longibracteata* forest in Tianbaoyan National Nature Reserve

YOU Huiming^{1,2}, HE Dongjin^{1,①}, LIU Jinshan³, CAI Changtang³, YOU Weibin¹, XIAO Shihong¹ (1. Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 2. Fujian Academy of Forestry Sciences, Fuzhou 350012, China; 3. Tianbaoyan National Nature Reserve, Yong'an 366032, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2013, 22(3): 18-24

Abstract: Taking *Tsuga longibracteata* W. C. Cheng forest in Tianbaoyan National Nature Reserve as research object, effects of covering with fallen logs or not and decay degree of fallen logs on eight soil physicochemical indexes (including water content, bulk density, total porosity, contents of organic carbon, total N, total P and total K, and C/N ratio) were researched, and change of these indexes of soil after covered with fallen logs was compared in different seasons and different type forests. The results show that after covered with fallen logs, soil bulk density decreases, total porosity and water content increase, contents of organic carbon, total N and total K all increase as compared with no covering with fallen logs, meaning that covering with fallen logs generally improve soil fertility under *T. longibracteata* forest. But there is insignificant effect of covering with fallen logs or not on soil physicochemical

收稿日期: 2013-02-18

基金项目: 教育部博士科学点基金项目(20103515110005); 国家自然科学基金资助项目(31370624; 30870435); 福建省科学技术厅重点项目(2009N0009); 福建省自然科学基金资助项目(2008J0116; 2011J01071)

作者简介: 游惠明(1984—),女,福建漳州人,博士,主要研究方向为森林生态学。

①通信作者 E-mail: fhdj1009@126.com

property. After covered with fallen logs at different decay degrees, there is a significant difference ($P < 0.05$) in soil organic carbon content with a basically gradually increasing trend as increasing of decay degrees of fallen logs, while there are insignificant differences in other seven soil physicochemical indexes. Contents of total N, total P and total K in soil covered with fallen logs of moderate decay (III class) all are the highest. After covered with fallen logs, there is an insignificant change in soil total P content in different seasons, while there are significant changes in other seven soil physicochemical indexes in different seasons ($P < 0.05$). After covered with fallen logs, bulk density and total K content of soil in autumn, winter, spring and summer increase in order while total porosity and organic carbon content decrease in order, and water content of soil is the lowest in autumn and the highest in spring. On the whole, after covered with fallen logs, there is a significant difference ($P < 0.05$) in eight soil physicochemical indexes in difference type forests of *T. longibracteata* forest. Comparing with four mixed forests, water content, bulk density and total K content of soil covered with fallen logs in *T. longibracteata* pure forest all are the highest, while total porosity is the lowest, organic carbon content is relatively low, C/N ratio and contents of total N and total P are in middle. It is suggested that in *T. longibracteata* forest of Tianbaoyan National Nature Reserve, covering with fallen logs is beneficial to improving soil physicochemical property and enhance soil fertility.

Key words: *Tsuga longibracteata* W. C. Cheng forest; covering with fallen logs; soil physicochemical index; decay degree; season; forest type

倒木是指在林地上由于风倒(连根拔)、干折或砍伐而留下的任何树木^[1],为森林生态系统的重要组成部分,不但在森林生态系统的物质循环、能量流动、更新与演替及土壤形成方面扮演着重要角色,在维持森林生态系统的完整性和稳定性方面也发挥着重要作用^[2-3]。目前有关倒木对生物地球化学循环影响效应的研究主要集中在倒木分解过程中化学元素的变化及其呼吸作用方面^[4-5],而有关倒木分解对土壤理化性质影响的研究报道^[6-7]则较少。在森林生态系统中,倒木的分解是一个漫长的过程^[8],倒木下方土壤理化性质的变化能够显著影响倒木的分解速率,进而影响森林生态系统的物质循环。因此,掌握倒木下方土壤理化性质的变化,不仅有利于完善倒木分解对生物地球化学循环影响效应的研究,也有利于了解倒木对森林土壤异质性及生产力的影响,可为森林保护和可持续管理提供科学依据。

长苞铁杉(*Tsuga longibracteata* W. C. Cheng)是中国特有珍稀古老的第三纪孑遗植物。福建省天宝岩国家级自然保护区的长苞铁杉林属于典型的常绿阔混交林,其分布面积居全国首位,在促进天宝岩森林演替、维持生态系统平衡稳定以及涵养水源方面发挥着十分重要的作用。然而,长苞铁杉的立地条件却较差、地势较陡、林下岩石裸露且土层较薄,一旦遭到破坏则难以恢复^[9];调查发现该区域内的长苞铁杉林中的粗死木质残体(coarse woody debris, CWD)主要由倒木组成^[10],这些倒木覆盖有利于提高林下土壤

的质量^[11]。

鉴于倒木对森林土壤的特殊作用,在前期研究的基础上,作者通过1 a的定点跟踪观察,研究了天宝岩国家级自然保护区长苞铁杉林内倒木覆盖处土壤8项理化指标的变化,并分析了倒木腐烂程度、倒木所处的林分类型和不同季节对土壤8项理化指标的影响,以期为天宝岩国家级自然保护区长苞铁杉林的保护及可持续管理提供理论依据,并为系统评估倒木分解对森林生物地球化学循环的影响提供基础研究数据。

1 研究区概况和研究方法

1.1 研究区概况

福建省天宝岩国家级自然保护区位于戴云山余脉,地理坐标为北纬 $25^{\circ}55' \sim 25^{\circ}58'$ 、东经 $117^{\circ}31' \sim 117^{\circ}33'30''$,具中低山地貌;属亚热带海洋性季风气候区,由于地势高耸、峰峦叠嶂,保护区内气温随海拔升高而降低,降雨量则随海拔升高而增多。该保护区年平均温度约 15°C ,最冷月(1月)平均温度 5°C ,最热月(7月)平均温度 23°C ,全年 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的活动积温为 $4\ 520^{\circ}\text{C} \sim 5\ 800^{\circ}\text{C}$;年均降雨量 $2\ 039\ \text{mm}$,年均空气相对湿度约 80% ;海拔 $800\ \text{m}$ 以下的土壤为红壤,海拔 $800 \sim 1\ 350\ \text{m}$ 的土壤为黄红壤,而海拔 $1\ 350\ \text{m}$ 以上的土壤则为黄壤。

该保护区内包含中国中亚热带地区许多典型的

植被类型,属森林生态系统类型自然保护区,具有大面积的长苞铁杉林和猴头杜鹃 (*Rhododendron simiarum* Hance) 林。其中,长苞铁杉林分布面积达 186.7 hm²,纯林面积 20 hm²,居全国首位;其针阔混交林分布在天宝岩东北坡,海拔 1 300 ~ 1 500 m 的林分属天然林,人为干扰较少,特别是海拔 1 350 m 以上的林分基本保持原始状态。区内植物群落的物种多样性丰富、区系起源古老,保留有大量的原始植物,且群落处于濒危状态。长苞铁杉林在促进天宝岩森林演替、维持生态系统平衡稳定以及涵养水源方面发挥着十分重要的作用^[12-13]。

1.2 方法

1.2.1 野外调查方法 在天宝岩国家级自然保护区不同林分类型的长苞铁杉林内设置 42 个面积 10 m × 10 m 的样地,其中,长苞铁杉纯林样地有 6 个,长苞铁杉-青冈 [*Cyclobalanopsis glauca* (Thunb.) Oerst.] 混交林样地有 6 个,长苞铁杉-猴头杜鹃混交林样地有 18 个,长苞铁杉-毛竹 [*Phyllostachys edulis* (Carr.) H. de Lehaie] 混交林样地有 6 个,长苞铁杉-糙花少穗竹 [*Oligostachyum scabriflorum* (McClure) Z. P. Wang et G. H. Ye] 混交林样地有 6 个。记录各样地内的群落类型、海拔、坡度和坡向等因子;对样地内的倒木进行记录,鉴定倒木树种,确定其腐烂等级,并逐株登记倒木的胸径、基径(或大头直径)、小头直径和高度。

参照阎恩荣等^[14]的方法将倒木腐烂等级分为 5 级,按腐烂程度从低到高依次用 I、II、III、IV 和 V 表示。

分别在 2009 年 10 月下旬(秋)、2010 年 1 月下旬(冬)、2010 年 4 月下旬(春)和 2010 年 7 月下旬(夏)定期定点采集各样地内倒木覆盖处及空旷地(即无倒木覆盖处)的土壤,备用。其中,在倒木覆盖处采集每根倒木上、中、下部中央地段下方深 0 ~ 10 cm 的土

壤,混合后作为该倒木覆盖处的土样。

1.2.2 土壤理化指标的测定 按照土壤常规分析方法测定各土样的土壤基本理化指标。采用环刀法^[15]测定土壤容重和总孔隙度;采用烘干法^[16]测定土壤含水量;采用重铬酸钾容量法^[17]测定土壤有机碳含量;采用碱解扩散法^[18]测定全 N 含量;采用火焰光度法^[19]测定全 K 含量;采用钼锑抗比色法^[20]测定全 P 含量。各指标测定均设置 3 次重复,结果取 3 次重复的平均值。

2 结果和分析

2.1 倒木覆盖处土壤理化性质的变化

有无倒木覆盖对天宝岩国家级自然保护区长苞铁杉林下土壤 8 项理化指标的影响见表 1。研究结果显示:在长苞铁杉林下,与无倒木覆盖的土壤相比,经倒木覆盖后土壤的容重降低、总孔隙度增加,说明倒木覆盖改善了土壤的通透性,有利于降水下渗,减少地表径流^[21],减缓水土流失;有倒木覆盖的土壤含水量增加,在一定程度上也提高了土壤的保水性能。总体来看,倒木覆盖有利于促进土壤的水源涵养,提高水土保持效率。

表 1 结果还显示:在长苞铁杉林下,与无倒木覆盖的土壤相比,经倒木覆盖后土壤的有机碳含量显著升高,C/N 比也随之升高,说明倒木覆盖使土壤有机碳含量增加,为微生物的繁殖和生长提供了大量的 C 源。无倒木覆盖的土壤 C/N 比大于 25,说明土壤中 N 含量难以满足微生物对 N 的需求^[22],而经倒木覆盖后土壤 N 含量有一定幅度的增加,可在一定程度上缓解土壤中 N 不足的状况。倒木覆盖对土壤全 P 和全 K 含量的影响较小,经倒木覆盖后土壤的全 P 含量无变化、全 K 含量则略有升高。

表 1 有无倒木覆盖对天宝岩国家级自然保护区长苞铁杉林下土壤理化性质的影响 ($\bar{X} \pm SE$)¹⁾

Table 1 Effect of covering with fallen logs or not on soil physicochemical property under *Tsuga longibracteata* W. C. Cheng forest in Tianbaoyan National Nature Reserve ($\bar{X} \pm SE$)¹⁾

状况 ²⁾ Status ²⁾	$\omega/\%$	$\rho_b/g \cdot cm^{-3}$	P/%	含量/g · kg ⁻¹ Content				C/N
				OC	TN	TP	TK	
A	18.41 ± 1.77a	1.16 ± 0.02a	55.59 ± 0.55a	97.25 ± 8.92b	2.22 ± 0.15a	0.46 ± 0.01a	9.31 ± 1.56a	47.55 ± 3.03a
B	18.93 ± 0.59a	1.05 ± 0.05a	59.43 ± 1.73a	146.94 ± 7.56a	2.77 ± 0.27a	0.46 ± 0.01a	9.37 ± 1.58a	54.95 ± 2.05a

¹⁾ ω : 土壤含水量 Water content of soil; ρ_b : 土壤容重 Bulk density of soil; P: 土壤总孔隙度 Total porosity of soil; OC: 土壤有机碳含量 Organic carbon content in soil; TN: 土壤全 N 含量 Total N content in soil; TP: 土壤全 P 含量 Total P content in soil; TK: 土壤全 K 含量 Total K content in soil; C/N: 土壤有机碳含量与全 N 含量的比值 Ratio of organic carbon content to total N content in soil. 同列中不同的小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$) Different small letters in the same column indicate the significant difference ($P < 0.05$).

²⁾ A: 无倒木覆盖 No covering with fallen logs; B: 有倒木覆盖 Covering with fallen logs.

整体看来,除有机碳含量外,有无倒木覆盖对长苞铁杉林下土壤理化性质的影响差异并不显著,但倒木覆盖有利于改善土壤结构、减缓水土流失,也能在一定程度上促进土壤肥力的提高。

2.2 经不同腐烂程度倒木覆盖后土壤理化性质的变化

经不同腐烂程度倒木覆盖后长苞铁杉林下土壤8项理化指标的变化见表2。实验结果表明:除土壤有机碳含量有显著差异外($P<0.05$),经不同腐烂程度倒木覆盖后长苞铁杉林下土壤其他7个理化指标均无显著差异。

与无倒木覆盖土壤的8项理化指标(表1)相比,

经不同腐烂程度倒木覆盖后土壤的容重均下降、总孔隙度均上升;经I级腐烂倒木覆盖后土壤的含水量、有机碳含量、全N含量及C/N比均低于无倒木覆盖的土壤,而经II~IV级倒木覆盖后土壤的含水量、有机碳含量、全N含量及C/N比均有所提高;经不同腐烂程度的倒木覆盖后土壤的全P含量较为稳定,变化甚微;经腐烂程度较低(I级和II级)的倒木覆盖后土壤的全K含量低于无倒木覆盖的土壤,而经腐烂程度中级和高级(III级~V级)的倒木覆盖后土壤的全K含量则高于无倒木覆盖的土壤。由表2还可见:经III级腐烂倒木覆盖后土壤的全N、全P及全K含量均最高。

表2 经不同腐烂等级倒木覆盖后天宝岩国家级自然保护区长苞铁杉林下土壤理化性质的变化($\bar{X}\pm SE$)¹⁾

Table 2 Change of soil physicochemical property under *Tsuga longibracteata* W. C. Cheng forest in Tianbaoyan National Nature Reserve after covered with fallen logs at different decay classes ($\bar{X}\pm SE$)¹⁾

腐烂等级 ²⁾ Decay class ²⁾	$\omega/\%$	$\rho_b/g \cdot cm^{-3}$	P/%	含量/ $g \cdot kg^{-1}$ Content				C/N
				OC	TN	TP	TK	
I	18.28±1.20a	1.04±0.04a	59.58±1.18a	97.09±5.59c	2.21±0.15a	0.47±0.02a	9.17±0.50a	45.86±1.90a
II	19.02±1.36a	1.00±0.03a	60.98±0.89a	139.27±11.95ab	2.86±0.22a	0.44±0.02a	9.20±0.48a	55.71±3.78a
III	18.54±1.36a	1.08±0.04a	58.26±1.17a	157.55±16.35ab	3.13±0.23a	0.49±0.03a	9.66±0.52a	53.64±4.11a
IV	19.66±1.30a	1.07±0.03a	58.51±1.05a	132.93±13.59bc	2.72±0.23a	0.43±0.01a	9.36±0.47a	53.57±5.14a
V	18.74±1.34a	1.02±0.03a	60.38±1.01a	177.19±19.78a	2.84±0.23a	0.47±0.02a	9.42±0.52a	65.33±6.21a

¹⁾ ω : 土壤含水量 Water content of soil; ρ_b : 土壤容重 Bulk density of soil; P: 土壤总孔隙度 Total porosity of soil; OC: 土壤有机碳含量 Organic carbon content in soil; TN: 土壤全N含量 Total N content in soil; TP: 土壤全P含量 Total P content in soil; TK: 土壤全K含量 Total K content in soil; C/N: 土壤有机碳含量与全N含量的比值 Ratio of organic carbon content to total N content in soil. 同列中不同的小写字母表示差异显著($P<0.05$) Different small letters in the same column indicate the significant difference ($P<0.05$).

²⁾ 从I级至V级腐烂程度依次递增 Decay degree increases gradually from I class to V class.

2.3 经倒木覆盖后不同季节土壤理化性质的变化

经倒木覆盖后长苞铁杉林内不同季节土壤8项理化指标的变化见表3。结果显示:经倒木覆盖后秋、冬、春、夏土壤容重依次增加,且冬季和春季间土壤容重差异不显著,其他季节间土壤容重有显著差异($P<0.05$);经倒木覆盖后秋、冬、春、夏土壤总孔隙度依次递减,且冬季和春季间土壤总孔隙度无显著差异,其他季节间土壤总孔隙度有显著差异;春季土壤含水量最高,其次为夏季,秋季最低且与其他季节间有显著差异。

由表3还可见:经倒木覆盖后,土壤有机碳含量在秋季最高,其次为冬季,春季较低,夏季最低,但春季与冬季间以及春季与夏季间土壤有机碳含量均无显著差异。经倒木覆盖后,土壤全N含量在冬季最高、夏季最低,其中冬季土壤全N含量显著高于其他3个季节,而春、夏和秋3个季节土壤全N含量无显著差异。经倒木覆盖后,秋季土壤C/N比最高,春季

次之,夏季最低,其中秋季土壤C/N比显著高于其他3个季节。经倒木覆盖后,不同季节土壤全P含量较为稳定,无显著差异。经倒木覆盖后秋、冬、春、夏土壤全K含量依次增加,但在春季和夏季间土壤全K含量无显著差异。

总体上看,经倒木覆盖后不同季节土壤的多数理化指标均有显著变化($P<0.05$),仅全P含量在不同季节间无显著差异。

2.4 经倒木覆盖后不同类型林分中土壤理化性质的差异

经倒木覆盖后天宝岩国家级自然保护区长苞铁杉林不同类型林分中土壤8项理化指标的差异见表4。结果显示:在供试的5类林分中,经倒木覆盖后长苞铁杉纯林中的土壤含水量、容重及全K含量均最高,也即高于4种混交林,而总孔隙度则最低;与混交林相比,经倒木覆盖后长苞铁杉纯林中土壤有机碳含量相对较低,而全N和全P含量及C/N比则居中。

经倒木覆盖后,长苞铁杉-青冈混交林内土壤的有机碳含量和全 N 含量均最高,土壤容重最低,而总孔隙度及全 P 和全 K 含量也均较高,说明在该林分中倒木覆盖处土壤的总体肥力相对较高;而在长苞铁杉-糙花少穗竹混交林内,土壤的有机碳含量、全 N 含量、全 K 含量及 C/N 比均低于其他林分,但其全 P 含量最

高,说明在该林分中倒木覆盖处土壤的总体肥力相对较低;此外,在长苞铁杉-猴头杜鹃混交林内,经倒木覆盖后土壤的含水量及总孔隙度在 4 种混交林中均最低、土壤容重最大,说明其土壤物理性质最差。总体看来,在不同类型林分内倒木覆盖后的土壤理化性质有显著差异($P<0.05$)。

表 3 经倒木覆盖后天宝岩国家级自然保护区长苞铁杉林下不同季节土壤理化性质的变化($\bar{X}\pm SE$)¹⁾

Table 3 Change of soil physicochemical property in different seasons under *Tsuga longibracteata* W. C. Cheng forest in Tianbaoyan National Nature Reserve after covered with fallen logs ($\bar{X}\pm SE$)¹⁾

季节 Season	$\omega/\%$	$\rho_b/g \cdot cm^{-3}$	P/%	含量/ $g \cdot kg^{-1}$ Content				C/N
				OC	TN	TP	TK	
秋 Autumn	9.01±0.91b	0.93±0.02c	63.34±0.73a	199.33±22.86a	2.56±0.19b	0.46±0.02a	4.80±0.20c	76.97±6.26a
冬 Winter	20.75±0.91a	1.02±0.02b	60.35±0.73b	155.95±14.04b	3.56±0.25a	0.48±0.02a	9.65±0.25b	44.85±2.11bc
春 Spring	23.01±0.74a	1.05±0.03b	59.34±0.93b	128.96±7.58bc	2.55±0.15b	0.45±0.02a	11.37±0.27a	54.18±2.96b
夏 Summer	22.60±0.98a	1.18±0.03a	54.89±1.10c	103.51±7.73c	2.40±0.15b	0.45±0.02a	11.65±0.27a	43.81±1.66c

¹⁾ ω : 土壤含水量 Water content of soil; ρ_b : 土壤容重 Bulk density of soil; P: 土壤总孔隙度 Total porosity of soil; OC: 土壤有机碳含量 Organic carbon content in soil; TN: 土壤全 N 含量 Total N content in soil; TP: 土壤全 P 含量 Total P content in soil; TK: 土壤全 K 含量 Total K content in soil; C/N: 土壤有机碳含量与全 N 含量的比值 Ratio of organic carbon content to total N content in soil. 同列中不同的小写字母表示差异显著 ($P<0.05$) Different small letters in the same column indicate the significant difference ($P<0.05$).

表 4 经倒木覆盖后天宝岩国家级自然保护区长苞铁杉林不同类型林分中土壤理化性质的差异($\bar{X}\pm SE$)¹⁾

Table 4 Variance of soil physicochemical property in different type forests of *Tsuga longibracteata* W. C. Cheng forest in Tianbaoyan National Nature Reserve after covered with fallen logs ($\bar{X}\pm SE$)¹⁾

林分类型 ²⁾ Forest type ²⁾	$\omega/\%$	$\rho_b/g \cdot cm^{-3}$	P/%	含量/ $g \cdot kg^{-1}$ Content				C/N
				OC	TN	TP	TK	
A	24.83±1.49a	1.16±0.05a	55.59±1.64c	146.79±24.37a	0.30±0.04ab	0.49±0.02b	11.96±0.66a	51.07±3.69ab
B	21.87±1.46a	0.97±0.02b	61.86±0.68a	183.68±35.43a	0.37±0.05a	0.55±0.03a	11.67±0.51a	51.05±4.87ab
C	16.02±0.78b	1.08±0.03a	58.23±0.90b	147.87±20.45a	0.25±0.03bc	0.38±0.01c	8.47±0.31b	62.62±4.00a
D	16.40±1.16b	0.97±0.02b	61.87±0.66a	165.81±18.96a	0.34±0.03ab	0.48±0.01b	8.62±0.44b	50.01±3.27ab
E	23.34±1.93a	1.03±0.04a	59.91±1.17b	66.99±11.15b	0.15±0.02c	0.58±0.01a	8.45±0.52b	44.77±2.03b

¹⁾ ω : 土壤含水量 Water content of soil; ρ_b : 土壤容重 Bulk density of soil; P: 土壤总孔隙度 Total porosity of soil; OC: 土壤有机碳含量 Organic carbon content in soil; TN: 土壤全 N 含量 Total N content in soil; TP: 土壤全 P 含量 Total P content in soil; TK: 土壤全 K 含量 Total K content in soil; C/N: 土壤有机碳含量与全 N 含量的比值 Ratio of organic carbon content to total N content in soil. 同列中不同的小写字母表示差异显著 ($P<0.05$) Different small letters in the same column indicate the significant difference ($P<0.05$).

²⁾ A: 长苞铁杉纯林 *Tsuga longibracteata* pure forest; B: 长苞铁杉-青冈混交林 *Tsuga longibracteata*-*Cyclobalanopsis glauca* mixed forest; C: 长苞铁杉-猴头杜鹃混交林 *Tsuga longibracteata*-*Rhododendron simiarum* mixed forest; D: 长苞铁杉-毛竹混交林 *Tsuga longibracteata*-*Phyllostachys edulis* mixed forest; E: 长苞铁杉-糙花少穗竹混交林 *Tsuga longibracteata*-*Oligostachyum scabriflorum* mixed forest.

3 讨论和结论

本研究结果显示:倒木覆盖有利于提高土壤肥力,该结果与前人的研究结果^[2,23]一致。土壤中有有机质含量的增加,能够促进土壤团聚体的形成,有效胶结土壤颗粒,改善土壤结构;另外,由于有机质疏松多孔^[24],又可使土壤的持水能力进一步提高。经倒木覆盖后长苞铁杉林下土壤中有机碳含量显著增加,这不仅使土壤肥力增加,还提高了土壤的水源涵养能

力、减缓水土流失。K 元素具有较高的迁移能力^[25],容易受降水淋溶,倒木覆盖不仅减缓了 K 的淋溶,还促进了土壤中 K 含量的增加。经倒木覆盖后长苞铁杉林下土壤中全 N 含量升高,这一研究结果与 Hafner 等^[26]的研究结果恰好相反,而与 Wang 等^[7]的研究结果一致,这可能与研究区的森林类型及土壤微生物的种类与活性有关。经倒木覆盖后,长苞铁杉林下土壤中全 P 含量的变化不明显,表明有无倒木覆盖对土壤全 P 含量影响甚微,进而说明 P 不是该研究区倒木淋溶的主要元素。

经不同腐烂程度倒木覆盖后长苞铁杉林下土壤的有机碳含量总体随腐烂程度增加而升高,而土壤全N、全P及全K含量的变化不显著,这一现象与袁杰等^[27]的研究结果相似。推测这可能是由于倒木覆盖处土壤中的植物残体大部分来源于倒木分解,使土壤有机碳含量随腐烂程度的提高而升高;但由于倒木分解速率十分缓慢^[8],其养分元素淋溶至土壤的速率也较为缓慢,导致一定时间内土壤全N、全P及全K含量变化不显著。在长苞铁杉林下,经中度(Ⅲ级)腐烂倒木覆盖后土壤全N、全P及全K含量达到峰值,可能与中度腐烂倒木上的腐解菌种最多有关^[28]。

Jabin等^[29]的研究结果表明:倒木分解受土壤微生物影响显著,季节变化能够引起微生物生存环境中温度和湿度的变化,使得不同季节某些土壤微生物的分布有显著差异,进而表现为倒木覆盖处土壤理化性质在不同季节间变化显著。在本研究中,经倒木覆盖后长苞铁杉林下土壤全N含量在冬季较高,可能是由于冬季温度较低,土壤微生物的活动降低,对N的利用率也有所降低,使得土壤全N含量比其他季节高。经倒木覆盖后长苞铁杉林下土壤C/N比在秋季最高、夏季最低,这可能与秋季气候干燥、土壤含水量低导致微生物活性降低,而夏季温暖湿润、土壤有机物分解加快有关。经倒木覆盖后长苞铁杉林下土壤全K含量在秋季最低,可能与秋季土壤总孔隙度最大使得K的流失量增加有关。

在不同类型林分中倒木的数量和质量存在较大差异,且不同类型林分间的特征、气象条件、地形及干扰程度等也存在一定差异,使得不同类型林分内倒木覆盖处的土壤理化性质有明显差异。由于针叶林群落结构较为单一,林内倒木质地坚硬,分解速率更为缓慢,其倒木淋溶到土壤中的养分含量也相对较少,导致针叶林(即长苞铁杉纯林)内土壤有机碳含量和全N含量均低于针阔混交林(即长苞铁杉-青冈混交林),而土壤容重大于针阔混交林。曹靖等^[30]也得出类似的研究结论。

综合上述研究结果可见:在天宝岩国家级自然保护区长苞铁杉林内,倒木覆盖有利于改善其林下土壤结构、减缓水土流失、促进土壤肥力提高,但有无倒木覆盖和倒木腐烂程度对土壤理化性质的影响总体上并不显著,而倒木覆盖处土壤理化性质在不同季节间及不同类型林分内均有显著差异($P < 0.05$)。由于本研究涉及的土壤理化指标相对较少,有关倒木覆盖对

土壤阳离子交换量、有效氮、微量元素及其他大量元素含量等指标的影响效应并未涉及,尚有待进一步补充完善。

参考文献:

- [1] 赵秀海. 长白山红松阔混交林中倒木的分布格局[J]. 吉林林学院学报, 1995, 11(4): 200-204.
- [2] HARMON M E, FRANKLIN J F, SWANSON F J, et al. Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems [J]. *Advances in Ecological Research*, 1986, 15: 133-302.
- [3] RICHARDSON S J, PELTZER D A, HURST J M, et al. Deadwood in New Zealand's indigenous forests [J]. *Forest Ecology and Management*, 2009, 258: 2456-2466.
- [4] OLAJUYIGBE S O, TOBIN B, GARDINER P, et al. Stocks and decay dynamics of above- and belowground coarse woody debris in managed Sitka spruce forests in Ireland [J]. *Forest Ecology and Management*, 2011, 262: 1109-1118.
- [5] FORRESTER J A, MLADENOFF D J, GOWER S T, et al. Interactions of temperature and moisture with respiration from coarse woody debris in experimental forest canopy gaps [J]. *Forest Ecology and Management*, 2012, 265: 124-132.
- [6] WALL A. Effect of removal of logging residue on nutrient leaching and nutrient pools in the soil after clearcutting in a Norway spruce stand [J]. *Forest Ecology and Management*, 2008, 256: 1372-1383.
- [7] WANG Q K, XIAO F M, WANG S L, et al. Response of selected soil biological properties to stump presence and age in a managed subtropical forest ecosystem [J]. *Applied Soil Ecology*, 2012, 57: 59-64.
- [8] GARRETT L G, OLIVER G R, PEARCE S H, et al. Decomposition of *Pinus radiata* coarse woody debris in New Zealand [J]. *Forest Ecology and Management*, 2008, 255: 3839-3845.
- [9] 邱迎君, 易官美, 宁祖林, 等. 濒危植物长苞铁杉的地理分布和资源现状及致危因素分析 [J]. *植物资源与环境学报*, 2011, 20(1): 53-59.
- [10] 何小娟. 天宝岩3种典型森林类型粗死木质残体生态学特征研究 [D]. 福州: 福建农林大学林学院, 2009.
- [11] 游惠明, 何东进, 蔡昌棠, 等. 天宝岩长苞铁杉林倒木对土壤肥力质量的影响评价 [J]. *应用与环境生物学报*, 2013, 19(1): 168-174.
- [12] 游惠明, 何东进, 刘进山, 等. 天宝岩3种典型森林类型CWD持水能力的比较 [J]. *热带亚热带植物学报*, 2010, 18(6): 621-626.
- [13] 游惠明, 何东进, 洪伟, 等. 海拔对天宝岩长苞铁杉林粗死木质残体分布的影响 [J]. *福建农林大学学报: 自然科学版*, 2011, 40(4): 365-369.
- [14] 闫恩荣, 王希华, 黄建军. 森林粗死木质残体的概念及其分类 [J]. *生态学报*, 2005, 25(1): 158-167.
- [15] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析 [M]. 上海: 上海

- 科学技术出版社, 1978: 511-512.
- [16] 中国林业科学研究院林业研究所森林土壤研究室. LY/T 1213 — 1999 森林土壤含水量的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
- [17] 中国林业科学研究院林业研究所森林土壤研究室. LY/T 1237 — 1999 森林土壤有机质的测定及碳氮比的计算[S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
- [18] 中国林业科学研究院林业研究所森林土壤研究室. LY/T 1228 — 1999 森林土壤全氮的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
- [19] 中国林业科学研究院林业研究所森林土壤研究室. LY/T 1234 — 1999 森林土壤全钾的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
- [20] 中国林业科学研究院林业研究所森林土壤研究室. LY/T 1232 — 1999 森林土壤全磷的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
- [21] 牛 赟, 敬文茂. 祁连山北坡主要植被下土壤异质性研究[J]. 水土保持研究, 2008, 15(4): 258-263.
- [22] 刘美英. 马家塔复垦区土壤质量评价及其平衡施肥研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学生态环境学院, 2009.
- [23] SPEARS J D H, LAJTHA K. The imprint of coarse woody debris on soil chemistry in the western Oregon Cascades [J]. Biogeochemistry, 2004, 71: 163-175.
- [24] 陆耀东, 薛 立, 曹 鹤, 等. 去除地面枯落物对加勒比松 (*Pinus caribaea*) 林土壤特性的影响[J]. 生态学报, 2008, 28(7): 3205-3211.
- [25] GANJEGUNTE G K, CONDRON L M, CLINTON P W, et al. Decomposition and nutrient release from radiata pine (*Pinus radiata*) coarse woody debris [J]. Forest Ecology and Management, 2004, 187: 197-211.
- [26] HAFNER S D, GROFFMAN P M. Soil nitrogen cycling under litter and coarse woody debris in a mixed forest in New York State [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2005, 37: 2159-2162.
- [27] 袁 杰, 侯 琳, 蔡 靖, 等. 秦岭火地塘林区倒木及其土壤化学元素含量特征[J]. 林业科学, 2011, 47(11): 19-24.
- [28] JUNNINEN K, KOMONEN A. Conservation ecology of boreal poly-pores: A review [J]. Biological Conservation, 2011, 144: 11-20.
- [29] JABIN M, MOHR D, KAPPES H, et al. Influence of deadwood on density of soil macro-arthropods in a managed oak-beech forest [J]. Forest Ecology and Management, 2004, 194: 61-69.
- [30] 曹 靖, 陈 琦, 常雅军, 等. 甘肃兴隆山自然保护区森林演替对土壤肥力影响的评价[J]. 水土保持研究, 2009, 16(4): 89-99.

(责任编辑: 佟金凤)

《林产化学与工业》2014 年征订启事

《林产化学与工业》(双月刊, 1981 年创刊)由中国林业科学研究院林产化学工业研究所、中国林学会林产化学化工分会共同主办, 为全国林产化工行业的学术类期刊。报道范围是可再生的木质和非木质生物质资源的化学加工与利用, 包括生物质能源、生物质化学品、生物质新材料、生物质天然活性成分和制浆造纸等, 主要包括松脂化学、生物质能源化学、生物质炭材料、生物基功能高分子材料、胶黏剂化学、森林植物资源提取物化学利用、环境保护工程、木材制浆造纸为主的林纸一体化和林产化学工程设备研究设计等方面的最新研究成果。

本刊现被美国《工程索引》(EI)、美国《化学文摘》(CA)、荷兰《文摘与引文数据库》(Scopus)、美国《乌利希国际期刊指南》、英国《英联邦农业和生物科学文摘》(CAB Abstracts)、英国《林产品文摘》(FPA)、英国《全球健康》、英国《皇家化学学会系列文摘》(RSC)、俄罗斯《文摘杂志》(PJZ)、中国科学引文

数据库(CSCD)、中文核心期刊、中国科技核心期刊、RCCSE 中国核心学术期刊(A)、中国农业核心期刊、中国期刊全文数据库、中国学术期刊综合评价数据库、万方数据——数字化期刊群、中文科技期刊数据库、中国核心期刊(遴选)数据库及《中国学术期刊文摘》等国内外刊库收录; 2008 和 2011 年连续两届被评为“中国精品科技期刊”。

本刊为双月刊, 逢双月月末出版, 大 16 开本; 国际标准连续出版物号 ISSN 0253-2417, 国内统一连续出版物号 CN 32-1149/S。国内外公开发行人, 国内邮发代号 28-59; 国外发行代号 Q5941。国内定价每期人民币 15.00 元, 全年定价人民币 90.00 元; 国外定价每期 15.00 美元, 全年定价 90.00 美元。编辑部地址: 江苏省南京市锁金五村 16 号 林化所内 (邮编 210042); 电话: 025-85482493; 传真: 025-85482493; E-mail: cifp@vip.163.com; 网址: http://www.cifp.ac.cn。