

甘肃兴隆山主要森林类型凋落物累积量及其影响因子

魏 强¹, 凌 雷¹, 王多锋¹, 柴春山¹, 陶继新², 张广忠¹, 戚建莉¹

(1. 甘肃省林业科学研究院, 甘肃 兰州 730020; 2. 甘肃兴隆山国家级自然保护区管理局, 甘肃 兰州 730117)

摘要: [目的]为了阐明森林凋落物累积量与主要影响因子的关系。[方法]2013—2014年,采用时空互代法和标准样地调查法,研究了兴隆山山杨-白桦-青杆林演替过程中山杨-白桦-青杆中龄林、青杆中龄林和青杆近熟林3种森林群落凋落物累积量及其主要影响因子。[结果]表明:1)随森林正向演替的进行,森林凋落物层厚度和总累积量先减小后增加,3种森林群落凋落物层厚度均值依次为5.26、5.03和5.59 cm,总累积量均值依次为57.08、51.44、56.34 t·hm⁻²;2)随海拔高度的升高,青杆近熟林凋落物总累积量不断增加,海拔2300、2400和2500 m均值依次为48.56、55.93和64.55 t·hm⁻²;林分密度大的、坡度小的青杆中龄林凋落物总累积量较大,林分密度为2133、1705和1065株·hm⁻²的均值依次为49.87、48.59和45.36 t·hm⁻²,坡度为22°、32°和41°的均值依次为58.35、49.90和48.59 t·hm⁻²;3)凋落物未分解层与林分胸径、树高、针叶树密度呈显著相关性。[结论]森林凋落物累积量影响因子较多,其大小是众多因子共同作用的结果。在林分和立地因子中,海拔影响较为明显,随海拔高度的升高而不断增加;林分密度、坡度等因子均有影响,但作用不明显;林分胸径、树高、针叶树密度与未分解层累积量呈显著负相关性,而与已分解层呈显著正相关性。

关键词:凋落物累积量;森林演替;海拔;林分密度;坡度

中图分类号:S718.52

文献标识码:A

Litter Accumulation and Its Impact Factor of Three Main Forest Communities in Xinglong Mountain, Gansu Province

WEI Qiang¹, LING Lei¹, WANG Duo-feng¹, CHAI Chun-shan¹, TAO Ji-xin², ZHANG Guang-zhong¹, QI Jian-li¹

(1. Gansu Provincial Academy of Forestry Sciences, Lanzhou 730020, Gansu, China; 2. Administration Bureau of Xinglong Mountain National Nature Reserve of Gansu, Lanzhou 730117, Gansu, China)

Abstract: In order to illustrate the relationship between forest litter cumulants and its key impact factors, the litter accumulation amount and its main environmental factors of three forest communities (middle-aged *Populus davidiana*-*Betula platyphylla*-*Picea wilsonii* forest, middle-aged *Picea wilsonii* forest and pre-matured *P. wilsonii* forest) during the succession of *Populus davidiana*-*B. platyphylla*-*Picea wilsonii* forest were studied by using the methods of spatial series representing temporal series and standard sample survey method in 2013—2014 in Xinglong Mountain of Gansu Province. The results showed as follows: 1. The thickness and total accumulation amount of litters decreased at first and then increased with the positive succession of forest communities. The average values of thickness for the three forest communities were 5.26 cm, 5.03 cm and 5.59 cm respectively, and the average values of total accumulation amount were 57.08 t·hm⁻², 51.44 t·hm⁻², and 56.34 t·hm⁻². 2. For the pre-matured *P. wilsonii* forest, the total accumulation amount of litter was gradually increasing with the increase of elevation, and

收稿日期: 2015-03-25

基金项目: 国家自然科学基金项目"兴隆山原始青杆纯林凋落物量及其持水性能研究"(31160180)资助。

作者简介: 魏 强(1974—),男,甘肃省渭源县人,硕士,副研究员,主要从事森林生态研究。E-mail:1974weiqiang@163.com。电话:13679479533

the average values of the three elevations of 2 300 m, 2 400 m, 2 500 m were $48.56 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, $55.93 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, and $64.55 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ respectively; For the middle-aged *P. wilsonii* forest, the total accumulation amount of litter of high density stand and small slope were greater, but the impact of the density and slope on the accumulation amount of litter was not obvious, the average values for the stand densities of 2 133 plants $\cdot \text{hm}^{-2}$, 1 705 plants $\cdot \text{hm}^{-2}$ and 1 065 plants $\cdot \text{hm}^{-2}$ were $49.87 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, $48.59 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ and $45.36 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ respectively, while the average values for the slopes of 22° , 32° and 41° were $58.35 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, $49.9 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ and $48.59 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$. 3. The correlation analysis showed that there was a significant correlation among the accumulation amount of litter un-decomposed and DBH, height, conifer density. The environmental factors affecting the accumulation amount of forest litter were various, and the litter amount was the result of combined action of many factors.

Key words: litter accumulation amount; forest succession; elevations; stand density; slope

森林凋落物是森林植物生长发育过程中新陈代谢的产物,作为连接植物与土壤的“纽带”和养分的基本载体^[1-2],是森林生态系统自肥的主要补给者,在能量流动和物质循环、维持土壤肥力、改善土壤理化性质、促进森林生态系统生产力、增强森林水源涵养与水土保持功能等方面起着重要作用^[1-2]。

凋落物累积量是凋落物产量和凋落物分解的动态平衡^[3]。开展森林凋落物累积量及影响因子的研究,将有助于对森林凋落物在森林碳源与碳汇中所发挥重要功能的认识,也有助于准确预测森林碳和养分循环对气候变化的响应。近年来,对于凋落物累积量的研究较多,主要集中在亚热带森林方面^[4],基本上涵盖了亚热带的各种林型^[5],如常绿阔叶林^[6]、马尾松(*Pinus massoniana* Lamb.)林^[7]、杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook)林^[8]、喀斯特主要森林^[9];而温带森林特别是阔叶林及针阔混交林研究较少^[5],在凋落物累积量与主要影响因素关系方面研究也相对较少。在温带,研究主要集中在油松林(*Pinus tabulaeformis* Carr.)、侧柏(*Platycladus orientalis* (L.) Franco)林、云杉(*Picea crassifolia* Kom)林和落叶松(*Larix principis-rupprechtii* Mayr.)林等森林类型和海拔、林型、林龄、群落演替及采伐强度等对凋落物累积量的影响^[5]。有关研究结果表明,凋落物累积量随海拔高度的增加而增加^[5];针叶林大于阔叶林,天然林高于人工林^[5];随林龄的增大,凋落物累积量在增多,未分解层所占比例在减小,半分解层和已分解层比例在增大^[5];随群落正向演替的进行逐渐增大^[5];随采伐强度的增大,凋落物累积量呈递减趋势^[10]。

兴隆山森林位于黄土高原最西端与祁连山东延余脉的交汇处,是以黄土和石质山地为主要成土母质、在降水量不足条件下发育而成的隐域森林,

是半干旱区保留较为完整的一块森林,并有大面积原始青杆(*Picea wilsonii* Mast)林分布,青杆纯林是该区域森林自然演替过程中的亚顶极群落。目前,对本区域主要森林群落土壤理化性质、凋落物持水特性、水源涵养功能等方面进行过一些研究,并取得了一些成果,但就森林演替、海拔、密度和坡度等因子与凋落物累积量关系方面的研究还未见报道。本文采用时空互代法与标准样地调查法,以典型山杨-白桦-青杆中龄林、青杆中龄林和青杆近熟林为研究对象,选择具有代表性演替阶段的样地,探讨森林演变过程中凋落物累积量变化规律及其与主要影响因素的关系,以期为该区域森林生态系统碳贮量和养分循环以及人工调控森林凋落物提供基础数据。

1 研究区域概况

甘肃兴隆山国家级自然保护区位于兰州市东南约45 km处($103^\circ 50' \sim 104^\circ 10' \text{ E}$, $35^\circ 38' \sim 35^\circ 58' \text{ N}$),属于祁连山的东延余脉,东西长37 km、南北宽17 km,总面积33 301 hm^2 ,包括兴隆山全部和马鞍山北麓,海拔1 800 ~ 3 670 m。本区域属于温带半湿润半干旱气候类型,受地形及海拔高度的影响,研究区内气候差异较大,在海拔<1 800 m区域,年均降水量350 mm;海拔1 800 ~ 2 600 m区域,年降水量为400 ~ 600 mm;海拔2 600 ~ 3 000 m区域,年降水量为600 ~ 800 mm。地貌以石质山地和山间谷地为主要特征,土壤由高山草甸土、亚高山草甸土、灰褐土、栗钙土、黄绵土、新积土组成。保护区内植物种类繁多且垂直地带分布规律极为明显,森林类型主要有寒温性针叶林、落叶阔叶林、落叶阔叶灌丛林和常绿阔叶灌丛林,其中原始青杆林分布较广,平均年龄达100 ~ 200年,生态系统较为稳定^[11]。

2 研究方法

2.1 研究方法

在对甘肃兴隆山森林类型详细调查与研究的基础上,选择山杨-白桦-青杆林演替中后期的山杨-白桦-青杆中龄林、青杆中龄林和青杆近熟林为对象,进行凋落物累积量与主要影响因子关系的研究。

分别在海拔、坡度、坡向等立地条件相似区域选择样地,样地规格 30 m × 30 m 的正方形,3 种森林所选样地均分布在阴坡。山杨-白桦-青杆中龄林设置 4 个样地,青杆中龄林设置 7 个样地,青杆近熟林设置 3 个样地,总共 14 个样地。

样地设计时,在考虑其它因子基本相似的前提下,来研究某一因子与凋落物累积量之间的关系。森林演替因子,3 种森林均位于海拔 2 300 ~ 2 550 m 处,山杨-白桦-青杆林为 1、2、3 和 4 号样地,青杆中龄林为 7、8、12、13 和 14 号样地,青杆近熟林为 9、10 和 11 号样地;海拔因子,样地位于青杆近熟林中,海拔梯度分别为 2 300、2 400 和 2 500 m,为 9、10 和 11 号样地;林分密度因子,样地位于青杆中龄林中,密度为 1 065、2 133 和 1 705 株 · hm⁻²,为 5、6 和 7 号样地;坡度因子,样地位于青杆中龄林中,坡度为 41°、22°和 32°,为 7、8 和 13 号样地。样地详细情况如表 1 所示。

表 1 兴隆山 3 种主要森林群落林分特征

森林类型	样地号	平均胸径/cm	平均高/m	年龄/a	林分组成	密度/(株 · hm ⁻²)	郁闭度	坡度/°	海拔/m	凋落物厚度/cm			凋落物量/(t · hm ⁻²)		
										未分解层	半分解层	已分解层	未分解层	半分解层	已分解层
S ₁	1	14.07	9.95	45~60	4 青杆+3 白桦+2 山杨+1 辽东栎	1 356	0.6	36	2 400	1.24	2.13	1.67	7.78	18.45	25.40
	2	11.80	8.07	45~65	4 白桦+3 青杆+2 山杨+1 辽东栎	1 656	0.7	40	2 450	1.61	1.63	1.67	10.60	23.05	26.87
	3	14.10	9.30	50~70	6 青杆+3 山杨+1 白桦	1 956	0.8	44	2 500	1.30	1.68	1.32	8.35	16.40	20.35
	4	10.00	8.40	60~80	7 青杆+2 红桦+1 山杨	1 619	0.7	39	2 550	1.84	2.57	2.37	12.32	23.17	35.58
S ₂	5	10.22	9.42	60~75	9 青杆+1 山杨	1 065	0.7	41	2 450	2.32	1.78	1.35	10.50	16.48	18.39
	6	12.38	10.95	50~70	10 青杆	2 133	0.8	40	2 460	1.95	2.61	1.50	12.70	18.59	18.58
	7	12.57	10.81	50~70	10 青杆	1 705	0.7	41	2 500	1.82	1.90	2.32	7.62	17.90	23.06
	8	14.66	12.50	50~75	10 青杆	1 626	0.8	22	2 520	1.91	1.50	1.59	14.09	20.73	23.53
	12	10.10	8.76	55~75	8 青杆+1 白桦+1 皂柳	1 527	0.7	37	2 450	1.42	1.95	1.48	9.37	22.00	20.73
	13	10.80	8.30	50~75	9 青杆+1 白桦	1 649	0.7	32	2 500	1.48	1.88	1.31	11.03	19.72	19.16
	14	14.40	8.60	55~85	9 青杆+1 白桦	1 252	0.6	33	2 550	2.18	1.37	1.02	11.47	18.87	17.92
S ₃	9	32.76	23.61	110~150	10 青杆	350	0.6	36	2 300	2.05	2.10	1.37	5.44	15.54	27.58
	10	33.33	25.08	110~150	10 青杆	532	0.7	36	2 400	2.32	2.19	1.44	7.20	21.89	26.84
	11	37.50	24.24	110~150	10 青杆	375	0.6	35	2 500	2.85	1.91	1.52	7.05	22.78	34.72

S₁: 山杨-白桦-青杆林; S₂: 青杆中龄林; S₃: 青杆近熟林。下同。

在 3 种森林每个样地内按下坡位、中坡位和上坡位分别设置 100 cm × 100 cm 样方 3 个、4 个和 3 个,样方总数 10 个,在每个样方内按未分解层(凋落物叶、枝、皮和果等保持原状,颜色变化不明显,外表无分解的痕迹)、半分解层(叶无完整外观轮廓但仍能辨别其种类)和已分解层(多数凋落物已粉碎,叶肉被分解成碎屑,看不出其种类,质地细腻)3 层标准^[5,9]全部收集样方内凋落物,装入塑料袋并立刻称质量,获得每层凋落物鲜质量;同时,在样方 4 边选 10 个点进行凋落物各分解层厚度的测定^[11],确保每边及凋落物较厚和较薄处均有点分布。将塑料袋中所收集凋落物混合均匀,从中取 50 g 左右凋落物装入信封袋立即称质量,后带回实验室在 65℃ 下烘干称质量,得到各凋落物层含水率,结合凋落物鲜质量计算单位面积不同层次的凋落物干物质量,3

层累加获得每个样方凋落物总累积量,每个样地 10 个样方平均值为该样地的平均值。每个样方每层 10 个凋落物层厚度平均值为该层凋落物平均厚度,3 层平均厚度之和为该样方凋落物总厚度,10 个样方平均值为该样地凋落物平均厚度。

2.2 数据整理与分析

用 Excel 软件进行绘图,利用 SAS 9.0 分析软件进行统计分析、显著性检验、相关性分析和逐步回归分析。

3 结果与分析

3.1 凋落物层累积量与演替过程的关系

3.1.1 凋落物层厚度 由表 1 和表 2 可以看出,在兴隆山森林正向演替过程中,处于 3 种演替阶段的森林凋落物层厚度平均值依次为 5.26 cm (4.29 ~

6.78 cm)、5.03 cm(4.56 ~ 6.04 cm)和 5.59 cm(5.52 ~ 6.28 cm),随森林正向演替先减少后增加,但 3 种森林间差异不显著。对于凋落物未分解层厚度(表 2),3 种森林间差异显著($p < 0.01$),青杆近熟林 > 青杆中龄林 > 山杨 - 白桦 - 青杆林;3 种森林间半分解层和未分解层厚度差异不显著。3 种森林凋落物不同分解层厚度所占比例各不相同,山杨

- 白桦 - 青杆林是已分解层 > 半分解层 > 未分解层,青杆中龄林是未分解层 > 已分解层 > 半分解层,青杆近熟林是未分解层 > 半分解层 > 已分解层。总之,随森林正向演替的进行,兴隆山森林凋落物层厚度先减小后增加,已分解层厚度所占比例在逐渐减少。

表 2 兴隆山 3 种主要森林群落凋落物层厚度及比例

森林群落	凋落物层						
	厚度/cm			总厚度	厚度百分比/%		
	未分解	半分解	已分解		未分解	半分解	已分解
S ₁	1.50 ± 0.42 Bb	2.00 ± 0.82 Aa	1.76 ± 0.99 Aa	5.26 ± 1.40 Aa	28.52	34.99	40.67
S ₂	1.76 ± 0.70 Bb	1.73 ± 0.61 Aa	1.54 ± 0.68 Aa	5.03 ± 0.95 Aa	38.02	34.39	34.96
S ₃	2.42 ± 0.48 Aa	2.08 ± 0.86 Aa	1.45 ± 0.64 Aa	5.95 ± 1.26 Aa	33.46	30.62	24.37

经 Duncan 多重比较,不同小写字母表示在 $P < 0.05$ 水平下差异显著;不同大写字母表示在 $P < 0.01$ 水平下差异显著;反之,差异不显著。

3.1.2 凋落物层累积量 研究表明(表 1、表 3),在兴隆山森林演替的不同阶段,3 种森林地表凋落物总累积量平均值依次为 57.08 t · hm⁻²(45.10 ~ 71.07 t · hm⁻²)、51.44 t · hm⁻²(48.26 ~ 58.35 t

· hm⁻²)和 56.34 t · hm⁻²(48.56 ~ 64.55 t · hm⁻²),3 种森林类型间凋落物总累积量差异不显著,即森林演替对兴隆山森林凋落物累积量影响不明显。

表 3 兴隆山 3 种主要森林群落凋落物累积量

主要影响因子		凋落物层累积量/(t · hm ⁻²)			总凋落物	平均值计算样地号
		未分解	半分解	已分解		
森林演替	S1	9.76 ± 4.84Aa	20.27 ± 8.70 Aa	27.05 ± 12.32ABa	57.08 ± 19.78 Aa	1,2,3,4
	S2	10.72 ± 5.21Aa	19.84 ± 5.70 Aa	20.88 ± 6.35Bb	51.44 ± 11.36 Aa	7,8,12,13,14
	S3	6.56 ± 2.32Bb	20.07 ± 7.15 Aa	29.71 ± 15.52Aa	56.34 ± 20.79 Aa	9,10,11
林分密度/(株 · hm ⁻²)	1 065	10.50 ± 4.45Aa	16.48 ± 4.72Aa	18.39 ± 7.77Aa	45.36 ± 12.37Aa	5
	2 133	12.70 ± 5.24Aab	18.59 ± 11.22Aa	18.58 ± 6.25Aa	49.87 ± 15.76Aa	6
	1 705	7.62 ± 2.84Ab	17.90 ± 5.33Aa	23.06 ± 7.37Aa	48.59 ± 12.42Aa	7
坡度/(°)	41	7.62 ± 2.84Bb	17.90 ± 5.33Aa	23.06 ± 7.37Aa	48.59 ± 12.42Aa	7
	22	14.09 ± 5.64Aa	20.73 ± 7.84Aa	23.53 ± 6.00Aa	58.35 ± 13.99Aa	8
	32	11.03 ± 5.42ABab	19.72 ± 5.22 Aa	19.16 ± 6.61 Aa	49.91 ± 9.25Aa	13
海拔高度/m	2 300	5.44 ± 1.99Aa	15.54 ± 7.99Ab	27.58 ± 22.34 Aa	48.56 ± 28.86Aa	10
	2 400	7.20 ± 1.86Aa	21.89 ± 6.38Aa	26.84 ± 6.23Aa	55.93 ± 11.17Aa	11
	2 500	7.05 ± 2.80Aa	22.78 ± 5.06Aa	34.72 ± 14.02Aa	64.55 ± 17.07Aa	12

经 Duncan 多重比较,不同小写字母表示在 $P < 0.05$ 水平下差异显著;不同大写字母表示在 $P < 0.01$ 水平下差异显著;反之,差异不显著。

凋落物分解程度不同,处于 3 种演替阶段的森林凋落物累积量变化范围和大小关系各不相同(表 1、表 3)。3 种森林未分解层累积量依次为 9.76 t · hm⁻²(7.78 ~ 12.32 t · hm⁻²)、10.72 t · hm⁻²(7.62 ~ 14.09 t · hm⁻²)和 6.56 t · hm⁻²(5.44 ~ 7.20 t · hm⁻²),青杆近熟林与青杆中龄林间差异极显著($p < 0.01$),大小依次为青杆中龄林 > 山杨 - 白桦 - 青杆林 > 青杆近熟林。半分解层累积量分别为 20.27 t · hm⁻²(16.40 ~ 23.17 t · hm⁻²)、19.84 t · hm⁻²(17.90 ~ 22.00 t · hm⁻²)和 20.07 t · hm⁻²

(15.54 ~ 22.78 t · hm⁻²),3 种森林类型间差异不显著。已分解层累积量依次为 27.05 t · hm⁻²(20.35 ~ 35.58 t · hm⁻²)、20.88 t · hm⁻²(17.92 ~ 23.53 t · hm⁻²)和 29.71 t · hm⁻²(26.84 ~ 34.72 t · hm⁻²),3 种森林类型间差异极显著($p < 0.01$),大小依次为青杆近熟林 > 山杨 - 白桦 - 青杆林 > 青杆中龄林。3 种不同演替阶段的森林,虽然不同分解层间的变化范围和大小关系不尽相同,但凋落物累积量总是已分解层 > 半分解层 > 未分解层(表 3)。

3.1.3 凋落物累积量的分层结构 图 1 表明,兴隆

山不同演替阶段的3种森林类型,各凋落物分解层累积量所占比例各不相同。总是已分解层>半分解层>未分解层;未分解层累积量较小,变化范围11.64%~20.84%,3种森林类型间差别不大;半分解层居中,变化范围35.51%~38.57%,3种森林类型间差别不大;已分解层较大,大小为40.59%~52.73%,3种森林类型间差别较大。由此可知,在森林凋落物层中,未分解层占凋落物总量的比例低于20.00%,半分解层为35.00%,已分解层所占比例高于40.00%。

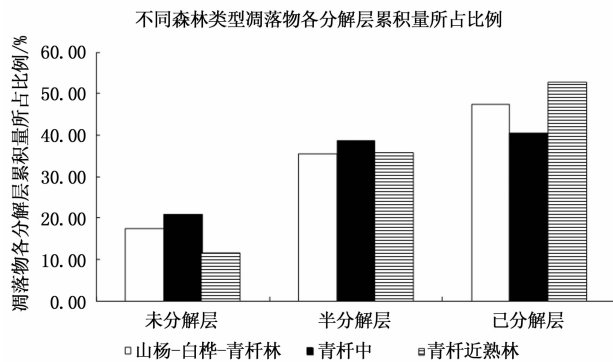


图1 兴隆山3种主要森林群落凋落物的分层结构

3.2 凋落物层累积量与海拔高度的关系

在森林类型、坡度、林分密度、龄林基本相似的情况下,兴隆山森林演替中后期的青杆近熟林,海拔2300、2400和2500m处凋落物总累积量分别为48.56、55.93和64.55 $t \cdot hm^{-2}$ (表3),凋落物总累积量随海拔高度的升高而不断增加,2500m是2300m的1.33倍,但3种海拔梯度间差异不显著。

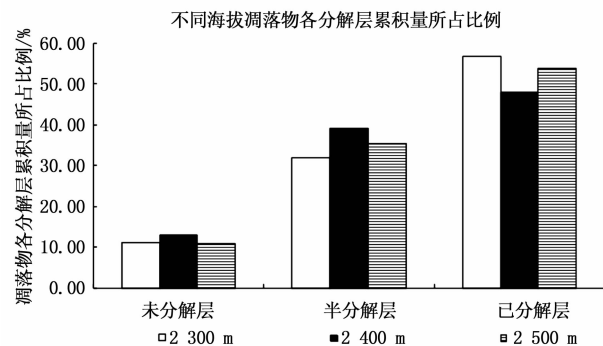


图2 兴隆山青杆近熟林凋落物累积量与海拔高度的关系

凋落物分解程度不同,3种海拔梯度间凋落物累积量变化规律不尽相同(表3)。海拔2300、2400和2500m未分解层累积量分别为5.44、7.20和7.05 $t \cdot hm^{-2}$,随海拔的升高先增加后减小,但3种海拔梯度间差异不显著。海拔2300、2400和2500

m处半分解层累积量分别为15.54、21.89和22.78 $t \cdot hm^{-2}$,随海拔的升高而不断增加,2300m与2400m和2500m间差异显著($p < 0.05$)。海拔2300、2400和2500m处已分解层累积量分别为27.58、26.84和34.72 $t \cdot hm^{-2}$,随海拔的升高先减小后增加,但3种海拔梯度间差异不显著。3种海拔梯度(表3、图2),青杆近熟林凋落物不同分解层间累积量变化规律虽然不尽相同,但总是存在已分解层>半分解层>未分解层。

3.3 凋落物层累积量与林分密度的关系

从表3可以看出,在坡度、海拔、森林类型、林龄基本相似的情况下,青杆中龄林林分密度不同,凋落物总累积量也不同,1065、1705和2133株 $\cdot hm^{-2}$ 凋落物累积量依次为45.36、48.59和49.87 $t \cdot hm^{-2}$,凋落物累积量随林分密度的增加而有所增加,但3种林分密度间差异不显著。未分解层、半分解层和已分解层累积量,不同林分密度间无明显变化规律,3种林分密度间差异不显著。青杆中龄林,虽然3种林分密度间凋落物累积量差异不显著(表3、图3),无明显变化规律,但凋落物累积量存在已分解层>半分解层>未分解层。

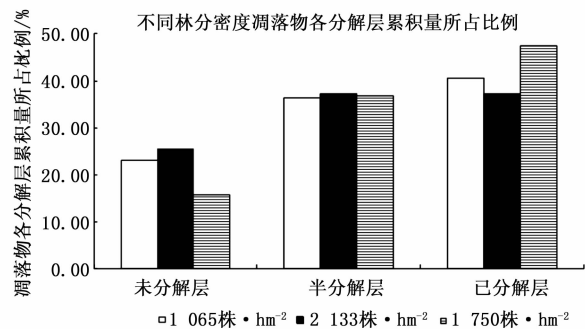


图3 兴隆山青杆中龄林凋落物累积量与林分密度的关系

3.4 凋落物层累积量与坡度的关系

从表3可以看出,在林分密度、海拔、森林类型、林龄基本相似的情况下,青杆中龄林所处立地坡度大小不同,凋落物总累积量也不同,22°、32°和41°大小依次为58.35、49.91和48.59 $t \cdot hm^{-2}$,凋落物总累积量随坡度增加而不断减小,但3种坡度间差异不显著。坡度对未分解层、半分解层和已分解层累积量的影响基本相同,即坡度大的累积量较小,坡度小的累积量较大,未分解层间差异显著($p < 0.05$),半分解和已分解层间差异不显著。3种坡度(表3、图4)青杆中龄林凋落物累积量存在已分解层>半分解层>未分解层。

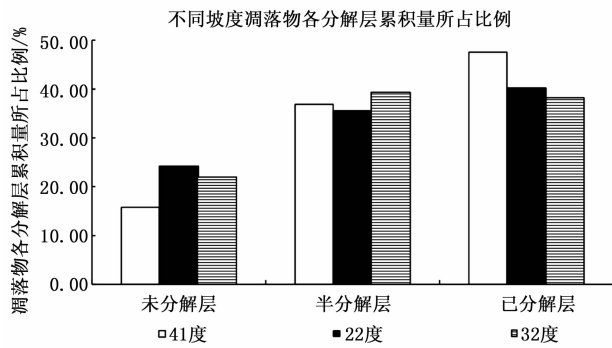


图 4 兴隆山青杆中龄林凋落物累积量与坡度的关系

3.5 森林凋落物层累积量与主要影响因子的关系

兴隆山 3 种森林类型凋落物累积量与林分、立地因子相关性分析表明(表 4),森林凋落物总累积量和半分解层累积量与林分因子和立地因子相关性不明显,相关系数均较小;凋落物未分解层累积量与林分胸径、树高、林龄呈显著负相关性,而与林分密度、针叶树密度、郁闭度呈显著正相关性;凋落物已分解层累积量与林分胸径、树高呈显著正相关性,而与林分针叶树密度呈显著负相关性。

表 4 兴隆山 3 种主要森林群落凋落物累积量与林分特征的 Pearson 相关系数

项目	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}
X_{14}	0.1983	0.2002	0.1887	-0.1174	-0.2380	0.1752	-0.1703	0.0477	-0.1470	0.0930	-0.0384	0.0413	0.3404
X_{15}	-0.6373**	-0.5823*	-0.5549*	0.6280**	0.6067**	0.0392	-0.0357	0.5098*	-0.3175	0.3916	-0.3292	0.3242	-0.0196
X_{16}	0.0679	0.0324	0.0822	-0.0417	-0.1534	0.1631	-0.1611	-0.0326	-0.1848	0.1781	-0.0360	0.0443	0.3617
X_{17}	0.5008*	0.4955*	0.4471	-0.4024	-0.5029*	0.1420	-0.1380	-0.1395	0.0227	-0.1220	0.1049	-0.1026	0.2966

** :表示在下 $P < 0.01$ 水平上极显著相关; * :表示在 $P < 0.05$ 水平上显著相关。 X_1 :胸径; X_2 :树高; X_3 :林龄; X_4 :密度; X_5 :针叶树密度; X_6 :阔叶树密度; X_7 :针叶树种所占比例; X_8 :郁闭度; X_9 :坡度; X_{10} :海拔; X_{11} :土壤密度; X_{12} :土壤总孔隙度; X_{13} :土壤层厚度; X_{14} :凋落物总量; X_{15} :未分解凋落物量; X_{16} :半分解凋落物量; X_{17} :已分解凋落物量。下同。

选择与凋落物累积量有关的林分和立地因子,分别与不同分解程度的凋落物累积量进行逐步回归分析,从而得到兴隆山凋落物未分解层、已分解层和总凋落物层累积量主导因子方程(表 5)。在凋落物未分解层累积量主导方程中,第一个引入因子是林分胸径,在总 R^2 中的贡献率最大,达 61.47%;后依次引入坡度和郁闭度因子,在总 R^2 中的贡献率较

小,依次为 25.45% 和 13.08%。在已分解层累积量主导方程中,只引入了针叶树种密度一个因子,再无其它因子引入,并且 R^2 也较小,仅为 0.252 9。对于凋落物总累积量和半分解层累积量,由于显著相关性因子较少,在回归方程中没有因子引入,因此未建立线性关系主导方程。

表 5 凋落物累积量与主要影响因子的回归方程

回归方程	各因子 R^2	复相关系数 R^2	显著水平
$X_{15} = 11.93641 - 0.15360X_1 - 0.17068X_9 + 9.25872X_8$	$X_1:0.4062$ $X_9:0.1682$ $X_8:0.0864$	0.6608	$P=0.0023$
$X_{17} = 29.56368 - 0.00526X_5$	$X_5:0.2529$	0.2529	$P=0.0396$

回归方程中变量次序表示逐步回归时引入变量的顺序,而引进变量顺序表示因子在回归方程中的重要程度。

4 讨论

4.1 凋落物层累积量

由于林木新陈代谢的作用,森林每年都有大量的凋落物归还于地表,而凋落物转化为最终简单的化合物是一个漫长而复杂的过程^[12]。因此,凋落物在地表出现累积现象,从上到下依次分布着未分解、半分解和已分解凋落物^[13-14]。凋落物层累积量大小主要取决于凋落物的输入量、分解速度和累积年限,而森林树种组成和林分所处水热条件的不同均对凋落物层累积量有较大的影响^[15]。在本研究中,随森林正向演替的进行,兴隆山 3 种森林凋落物层厚度在逐渐增加,总累积量是先减小后增

加,但 3 种森林类型间差异不显著,说明森林演替对兴隆山山杨-白桦-青杆林、青杆中龄林和青杆近熟林凋落物影响不明显。这一结果与前人研究结果不相一致^[5, 16-17],相关研究认为随群落正向演替的进行凋落物厚度和累积量在逐渐增大。在兴隆山森林进展演替过程中,阴坡森林演替次序为灌木林→山杨-白桦-辽东栎林→山杨-白桦-青杆林→青杆纯林 4 个阶段,随森林正向演替的进行,森林群落由最开始的灌木林演变为阔叶林,后演变为以暗针叶林为主的森林类型,林分密度逐渐变小,林分年凋落量逐渐变小,如山杨-白桦-青杆林 > 青杆中龄林 > 青杆近熟林;山杨-白桦-青杆林凋落量较大,但凋落物中阔叶所占比例较高,

又阔叶分解速率远大于针叶;青杆中龄林和青杆近熟林虽然凋落量较小,但凋落物中针叶所占比例较高,而针叶树凋落物分解速度慢于阔叶树。基于以上原因,本研究出现森林演替对凋落物厚度与总凋落物量影响不明显的结果。

不同地区、不同森林或同一地区不同森林类型间凋落物累积量差异较大^[5,12]。对于北方温带森林,不同地区、不同森林类型间凋落物累积量差异较大,大兴安岭寒温带森林 $12.35 \sim 48.46 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 针叶林明显高于阔叶林^[18];祁连山温带森林 $22.50 \sim 46.82 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ^[19];六盘山温带森林 $4.87 \sim 30.86 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 针叶林 > 阔叶林 > 灌丛林^[20]。在本研究中 3 种森林凋落物总累积量 $51.44 \sim 57.08 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 明显高于其它相同类型区。对于兴隆山 3 种森林,在树种组成中针叶树所占比例较大,而针叶凋落物分解较慢;另外,本区域森林发育年限较长,青杆近熟林已达 150 年左右,而山杨-白桦-青杆林和青杆中龄林是在人类对原有青杆林过度干扰情况下演变而来的 2 种森林类型,森林发育年限也较长。基于以上原因,很可能使兴隆山森林凋落物累积量高于其它地区。

兴隆山青杆近熟林,在林分立地条件、树种组成、林分密度、林龄相似的情况下,凋落物层厚度及总累积量随海拔高度的增加而有不断增加的趋势,但 3 种海拔梯度间差异均不显著,这与 Joanna 等的研究结果有所不同^[16],他认为随海拔高度的不断增加而增加。产生这一结果的原因很可能是所选样地海拔差距太小所致,如本研究海拔间距仅为 100 m;或者是森林类型不同所致,如从低海拔的常绿阔叶林到高海拔的暗针叶林,凋落物现存量从 11.24 到 $113.94 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ^[5]。

研究发现,青杆中龄林,林分密度大的和坡度小的凋落物总累积量及未分解层、半分解层和已分解层累积量均较高,但 3 种密度、3 种坡度间差异均不显著。一般情况下,林分密度大的凋落物累积量较高^[21],但在本研究中并未出现这一规律,这有可能是林分间密度差异不大;或在林分密度不同的情况下,有其它因子共同影响凋落物累积,由此而掩盖了林分密度对凋落物累积量的影响规律。再说,对于天然林,要选不同林分密度或不同坡度下其它立地和林分因子均一致的林分是很难的,在实际中是无法实现的。由于以上原因,致使出现林分密度和坡度对凋落物总累积量影响不明显的结果。

兴隆山 3 种森林,在森林类型、海拔、密度、坡度等不同的前提下,存在已分解层 > 半分解层 > 未分解层这一规律,这与路翔等的研究结果相似^[14]。兴隆山 3 种森林,森林形成年代较长,最短的也有 70 年,最长的已达 150 年,但凋落物分解较慢,特别是以暗针叶树种为主的森林,凋落物年分解量远小于年凋落量,经过长期的积累,林地表面出现大量已分解凋落物累积,但已分解凋落物转化成土壤有机质的时期会更长,因此产生上述结果。由此也说明,对于形成年代较长的森林,地表凋落物累积量较大,已分解层高于半分解层,而未分解层最低。

4.2 凋落物层累积量与影响因子的关系

森林凋落物累积量主要取决于植物群落生产力,此外还依赖于森林类型、物种组成、林龄、林分密度、凋落物自身特性、森林演替、气候、纬度、海拔、土壤肥力、土壤含水量和采伐强度等人为干扰因子^[5,22-23]。研究发现,兴隆山森林凋落物总累积量和半分解层累积量与林分、立地因子相关性不明显,相关系数均较小;未分解层与林分胸径、郁闭度、坡度呈显著相关性,特别是林分胸径;已分解层与树高、针叶树密度和针叶树种所占比例相关性较大,特别是针叶树密度。一般而言,凋落物总累积量与林分和立地因子有一定的相关性,但本研究出现相关性不明显的结果。至于何种原因,目前还无法解释,还有待于进一步研究。

5 结 论

不同地区、不同森林或同一地区不同森林类型间凋落物累积量差异较大。就森林凋落物累积量而言,影响其大小的因子很多。兴隆山山杨-白桦-青杆林、青杆中龄林和青杆近熟林 3 种森林类型,凋落物总累积量分别为 57.08 、 51.44 和 $56.34 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 森林演替对凋落累积量影响不明显。在林分和立地因子中,海拔影响较为明显,随海拔高度的升高而不断增加;林分密度、坡度等因子均有影响,但作用不明显;林分胸径、树高、针叶树密度与未分解层累积量呈显著负相关性,而与已分解层呈显著正相关性。这也再次说明,森林凋落物累积量大小是多因子共同作用的结果,而决非某一因子起主导作用。在森林演替、海拔、密度、坡度等不同的前提下,兴隆山森林凋落物累积量总是存在已分解层 > 半分解层 > 未分解层这一规律。

参考文献:

- [1] 骆宗诗, 向成华, 慕长龙. 绵阳官司河流域主要森林类型凋落物含量及动态变化[J]. 生态学报, 2007, 27(5): 1772-1781.
- [2] 马玉珠, 程栋梁, 钟全林, 等. 中国森林凋落物不同组分异速比例关系[J]. 植物生态学报, 2013, 37(12): 1071-1079.
- [3] 彭少麟, 刘 强. 森林凋落物动态及其对全球变暖的响应[J]. 生态学报, 2002, 22(9): 1532-1544.
- [4] 何 帆, 王得祥 雷瑞德, 等. 秦岭林区主要树种叶片凋落物性质的研究[J]. 西北林学院学报, 2008, 23(4): 30-33.
- [5] 郑 路, 卢立华. 我国森林地表凋落物现存量及养分特征[J]. 西北林学院学报, 2012, 27(1): 63-69.
- [6] 张庆费, 徐绒娣. 浙江天童常绿阔叶林演替过程的凋落物现存量[J]. 生态学杂志, 1999, 18(2): 17-21.
- [7] 刘效东, 乔玉娜, 周国逸, 等. 鼎湖山3种不同演替阶段森林凋落物的持水特性[J]. 林业科学, 2013, 49(9): 8-15.
- [8] 薛 立, 何跃君, 屈 明, 等. 华南典型人工林凋落物的持水特性[J]. 植物生态学报, 2005, 29(3): 415-421.
- [9] 黄宗胜, 符裕红, 喻理飞. 喀斯特森林植被自然恢复中凋落物现存量及其碳库特征演化[J]. 林业科学研究, 2013, 26(1): 008-014.
- [10] 周新年, 巫志龙, 郑丽凤, 等. 天然林择伐10年后凋落物现存量及其养分含量[J]. 林业科学, 2008, 44(10): 25-28.
- [11] 魏 强, 凌 雷, 张广忠, 等. 甘肃兴隆山主要森林类型凋落物累积量及持水特性[J]. 应用生态学报, 2011, 22(10): 2589-2598.
- [12] Pedersen L B, Hansen J B. A comparison of litter fall and element fluxes in even aged Norway spruce, sitka spruce and beech stands in Denmark [J]. Forest Ecology and Management, 1999, 114(8): 55-70.
- [13] 吴 毅, 刘文耀, 沈有信, 等. 滇石林地质公园喀斯特山地天然林和人工林凋落物与死地被物的动态特征[J]. 山地学报, 2007, 25(3): 317-325.
- [14] 路 翔, 项文化, 任 辉, 等. 中亚热带四种森林凋落物及碳氮贮量比较[J]. 生态学杂志, 2012, 31(9): 2234-2240.
- [15] 高 人, 周广柱. 辽宁东部山区几种主要森林植被类型凋落物层持水性能研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2002, 33(2): 115-118.
- [16] Joanna F D, Mary C S, Straker C J. Litter production and accumulation in *Pinus patula* plantations of the Mpumalanga Province, South Africa [J]. Plant and Soil, 1998, 203(2): 183-190.
- [17] 齐泽民, 王开运, 宋光煜, 等. 川西亚高山箭竹群落枯枝落叶层生物化学特性[J]. 生态学报, 2004, 24(6): 1230-1236.
- [18] 吴 波, 石培礼 井学辉, 等. 大兴安岭东部林区植被蓄水潜力与价值的评估[J]. 林业科学研究, 2006, 19(6): 706-712.
- [19] 聂雪花, 车克钧, 刘贤德, 等. 祁连山山西水林区主要森林类型土壤水文功能研究[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(15): 7269-7272.
- [20] 时忠杰, 王彦辉, 徐丽宏, 等. 六盘山主要森林类型枯落物的水文功能[J]. 北京林业大学学报, 2009, 31(1): 91-99.
- [21] 张家武, 廖利平, 李锦芳, 等. 马尾松火力楠混交林凋落动态及其对土壤养分的影响[J]. 应用生态学报, 1994, 18(4): 306-313.
- [22] Pausas J G. Litter fall and litter decomposition in *Pinus sylvestris* forests of the Eastern Pyrenees [J]. Journal Vegetation Science, 1997, 8: 643-650.
- [23] 原作强, 李步杭, 白雪娇, 等. 长白山阔叶红松林凋落物组成及其季节动态[J]. 应用生态学报, 2010, 21(9): 2171-2178.