

文峪河上游河岸林凋落物及其分解过程研究

张芸香, 张晋明, 郭晋平*

(山西农业大学林学院, 山西 太谷 030801)

摘要:通过凋落物定点收集调查和分解袋定点埋置实验,对文峪河上游山地溪流河岸带寒温性针阔叶混交林的年凋落量动态和凋落叶在不同环境中的分解进程进行了周年研究。结果表明,研究地区山地溪流河岸林在河岸带和溪流中的年凋落量分别为 3.46 和 4.09 $t \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$;河岸带和溪流凋落物中阔叶凋落量占优势,分别占 40.55% 和 40.19%,针阔叶凋落量分别占到总凋落量的 62.00% 和 59.64%,枝和叶凋落量分别占总凋落量的 81.09% 和 77.92%,凋落物各组分的比例从大到小依次为阔叶 > 针叶 > 枝条 > 杂物 > 花和果实 > 树皮;河岸带和溪流的凋落量年动态均呈双峰态,其中秋季高峰期出现在 9 月中旬到 10 月中旬,高峰期凋落量分别占年凋落量的 56.5% 和 52.7%;春季高峰期出现在 4 月到 6 月,高峰期凋落量分别占年凋落量的 23.3% 和 30.3%。在本研究地区,凋落叶分解速率总的来说低于亚热带地区,但高于许多温带森林;凋落叶在水体中的分解速率比在河岸带林下快,分解系数为 0.712 9,半衰期为 0.97 年;而在河岸林下,距离河岸近的地方阳坡的分解速率比阴坡快,分解系数和半衰期分别为 0.531 9、0.433 7 和 1.30 年、1.60 年;距离河岸远一些的地方阴坡的分解速率比阳坡快,分解系数和半衰期分别为 0.604 2、0.440 1 和 1.15 年、1.58 年。

关键词:文峪河上游;河岸林;凋落物;动态分析;分解过程

中图分类号:S718.55

文献标识码:A

Forest Litter and Its Decomposing Processes in Riparian Forests of the Upstream of Wenyu River

ZHANG Yun-xiang, ZHANG Jin-ming, GUO Jin-ping

(College of Forestry, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, Shanxi, China)

Abstract: By onsite forest litter survey and buried decomposition bags, investigation and study were conducted on the seasonal litter amount dynamics and decomposing processes of forest litter in different environments in cold temperate mixed forests of riparian zones upstream Wenyu River in motane area. The annual litter production of motane riparian forests to the riparian zone and the river were 3.46 and 4.09 $t \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$ respectively. Of the litter in both environments, the litter from broadleaves was dominant, accounting for 40.55% and 40.19% respectively, while the leaves from conifer and broadleaves accounted for 62.00% and 59.64% of total litter respectively and the branches and leaves accounted for 81.09% and 77.92% respectively. In the composition of litter, the highest litter amount was from broad leaves, then from needle leaves, branches, miscellany, flowers and fruits, barks and herbs subsequently. The annual litter dynamic curves of both environments had two peaks, with the highest amounts occurred from mid-September to mid-October, accounting for 73.46% and 76.92% of annual litter amounts respectively, and from April to June, accounting for 23.3% and 30.3% of annual amounts respectively. In the study area, the decomposition rate of leaf litter in waterbody was lower than those in subtropical forests, but higher than that

收稿日期:2010-09-20

基金项目:国家自然科学基金(30970480),博士点基金(200801130002),山西省留学基金(2008079)

作者简介:张芸香(1965—),女,硕士,高级实验师,主要从事森林生态、森林培育等方面的教学科研工作。

* 通讯作者:教授,博导,主要从事森林生态、森林经营管理、景观生态等方面的教学科研工作。E-mail: jinpinguo@126.com

in many temperate forests. The decomposition rate of leaf litter in waterbody, which was 0.712 9 with a half life of 0.97a, was faster than that in humus layer under riparian forests. Under riparian forests where are close to river banks, the decomposition rates on sun slopes were faster than that on shade slopes, while the decomposition rate and a half life were 0.531 9 and 1.30a for sun slopes and 0.433 7 and 1.60a for shade ones. At where far to river banks, the decomposition rates on sun slopes were slower than that on shade slopes, while the decomposition rate and a half life were 0.604 2 and 1.15a for shade slopes and 0.440 1 and 1.58a for sun ones.

Key words: upstream Wenyu river; riparian forest; litter; dynamics; decomposing processes

森林凋落物是森林土壤有机质的主要来源,凋落物的分解使营养元素归还土壤并逐步向表层土壤聚集,是保持森林土壤肥力和生产力的主要机制^[1]。森林凋落物也为许多土壤动物、微生物、原生物提供栖息环境和营养物质,为保持森林生物多样性、森林生态系统稳定性和可持续性提供了重要保证^[2-4]。凋落物在生态系统生物地球化学循环中起着植物—凋落物—土壤连续体的纽带作用。关于森林凋落物数量、性质、分布、来源、分解动态、养分释放、土壤效应等方面的研究,长期以来一直是森林生态系统结构、功能和过程研究的核心内容^[5-6]。森林凋落物在全球碳循环和平衡中具有重要地位和作用,是相关研究的新内涵^[5]、新热点^[6]。

河岸林具有为水生生态系统提供有机质,并通过河流向下游输送营养物质的重要功能^[2]。在有河岸林的溪流中,凋落物的组成非常丰富,是河流生态系统最重要的能量和物质来源。由于河岸林的特殊空间位置,凋落物产量大于相邻的高地植被,对河岸带和整个河流生态系统物质循环和生物多样性保护具有特殊作用,进行河岸林凋落物及其动态分解过程和影响因素的研究具有突出的意义^[2,5,7]。我国学者自20世纪80年代以来就对不同气候带许多森林类型的凋落量及年凋落动态、凋落物组成和化学成分、凋落物分解速率和养分释放等进行了大量研究^[8-14]。但河岸林凋落物研究成果为数不多,如对香溪河流域河岸林4个树种的凋落物分解过程和速率以及营养元素动态的研究^[7],还不能为河岸林功能评价、结构优化和经营管理提供应有的支撑。为此,本文以文峪河上游山地河岸林为对象,采用定点调查和分解袋埋置实验相结合的方法,研究河岸带林地和河流水面的年凋落量动态及其分解进程和影响因素。

1 研究地区概况与研究方法

1.1 研究地区概况

研究地区位于山西省吕梁山中段关帝山林区的

庞泉沟国家级自然保护区,属于典型的华北地区石质山地天然次生林区,地理位置 111°22'~111°33'E, 37°44'~37°55'N。年均气温 4~11℃;年均降水量 822.6 mm;年日照时数 1 900~2 200 h,年均相对湿度 70.9%,年均蒸发量 1 100~1 500 mm;年均无霜期 100~130 d;≥0℃积温约 2 100℃,雪期和冻土期 6个月,最大冻土深度 150 cm。样地布设在文峪河上游支流齐冲沟内,河道平均坡度 17.5°,河岸带平均坡度为 21.3°,最低海拔 1 860 m,最高海拔 2 160 m。下游平均河宽 6.7 m,水深 1.3 m;中上游平均河宽 3.1 m,平均水深 0.7 m。河岸林为山地寒温带性针阔叶混交林,主要组成树种有华北落叶松 (*Larix principis-rupprechtii* May)、云杉(白杆 *Picea meyeri* Rehd. et Wils. 和部分青杆 *P. wilsonii* Mast.), 白桦 (*Betula platyphylla* Suk)、红桦 (*B. albo-sinensis* Burk.)、山杨 (*Populus davidiana* Dode) 和辽东栎 (*Quercus liaotungensis* Koidz.)。林下灌木主要有土庄绣线菊 (*Spiraea pubescens* Turcz.)、忍冬 (*Lonicera* sp.)、山刺玫 (*Rosa davidii* var. Crép.)、美蔷薇 (*Rosa bella* Rehd. et Wils.) 等树种。草本植物有鹿蹄草 (*Pyrola calliantha* H. Andres)、舞鹤草 (*Maianthemum bifolium* (L.) F. W. Schmidt)、铃兰 (*Convallaria majalis* L.)、龙牙草 (*Agrimonia pilosa* Ledeb.)、柴胡 (*Bupleurum chinense* DC.)、大花韭 (*Allium macranthum* Baker) 等。

1.2 年凋落量测定

于2005年12月底之前,在文峪河上游庞泉沟内二级支流大沙沟内设置研究河段,河流宽度平均 1.5 m。在距离河岸 10 m 和 20 m 的河岸带内和河流内各设置凋落物收集筐 10 个,总计 60 个,收集筐规格 50 cm×50 cm×25 cm,材料为孔径 1 mm 的尼龙网,收集筐支撑固定好,使筐底距地面 20 cm,距水面 80 cm。凋落物收集筐设置好后,从2006年1月开始到2006年12月底结束,进行了为期1年的凋落物收集,定期进行收集测定和记录,从1月到6月每季度收集1次,7月和8月每月收集1次,9月和

10月每10天收集1次,11月和12月每月收集1次。每次收集将凋落物带回室内,按阔叶、针叶、枝、皮、花和果实、杂物(植物碎屑、鸟虫排泄物、动物残体)进行分类,在80℃的通风恒温干燥箱中烘干至恒质量,称质量并记录各组分和总质量。

1.3 凋落物分解过程测定

为研究河岸林凋落叶的分解过程,于2005年12月底,从研究地区河岸林中收集当年新鲜凋落叶,用精度为0.001克的电子天平称取30g干样品,装入孔径1mm、规格20cm×25cm的尼纶网分解袋内,备成凋落叶分解样品袋,分别选择阴坡和阳坡距离河岸10m和20m的河岸林下和溪流中3种环境,按4个不同取样时段和3次重复,做随机区组设计,布设凋落物分解试验样点,将分解袋分别埋置于各

样点腐殖层内和沉入河流水体中并固定。从2006年3月底开始第1次取样,每3个月取样1次,每次取样分别在3组中各取3个重复样品,共取样4次。将取回的样品带回实验室,对样品进行冲洗后,置于80℃的通风恒温干燥箱中烘干至恒质量,用精度为0.001g的电子天平称量样品质量并记录,计算失重率指标。

2 结果与分析

2.1 凋落物的数量和组成

凋落物成分按凋落阔叶、凋落针叶、凋落枝、花和果实、树皮、杂物分成6类。对两类样地收集的样品进行分析,凋落物各组分凋落量和组成比例见表1。

表1 凋落物数量及组成

地点	项目	阔叶	针叶	树枝	花和果实	树皮	杂物	总量
河岸带	干质量/(kg·hm ⁻²)	1 401.68	741.40	660.00	245.52	86.36	322.12	3 457.08
	组成/%	40.55	21.45	19.09	7.10	2.50	9.32	100.00
溪流中	干质量/(kg·hm ⁻²)	1 642.76	794.92	746.96	305.28	204.64	392.40	4 086.97
	组成/%	40.19	19.45	18.28	7.47	5.01	9.60	100.00

由表1可见,河岸带和溪流中年凋落量分别为3 457.08 kg·hm⁻²和4 086.97 kg·hm⁻²,溪流中的年凋落量大于河岸带的年凋落量,高出18.2%。从河岸带与溪流中凋落物各组分凋落量来看,溪流中凋落物各组分都大于河岸带,其中阔叶高出17.2%,针叶高出7.2%,树枝高出13.2%,花果树皮和杂物则更高出137.0%。河岸带与溪流中凋落物各组分所占比例相差不大,溪流中叶和枝的比例略低而树皮花果杂物的比例略高。

2.2 凋落物的年凋落过程

2.2.1 总凋落量的动态过程 将两个样地的逐月凋落量和逐月累积凋落过程绘制成图1。可见,河岸带和溪流中的全年凋落动态表现为两个凋落高峰,第一峰值出现在9—10月,第二峰值出现在4—6月,两个凋落高峰期的凋落量构成年凋落量的主体。由于1月到6月期间每季度收集测定1次,凋落过程的细节不够,但两种环境下的凋落过程相似。

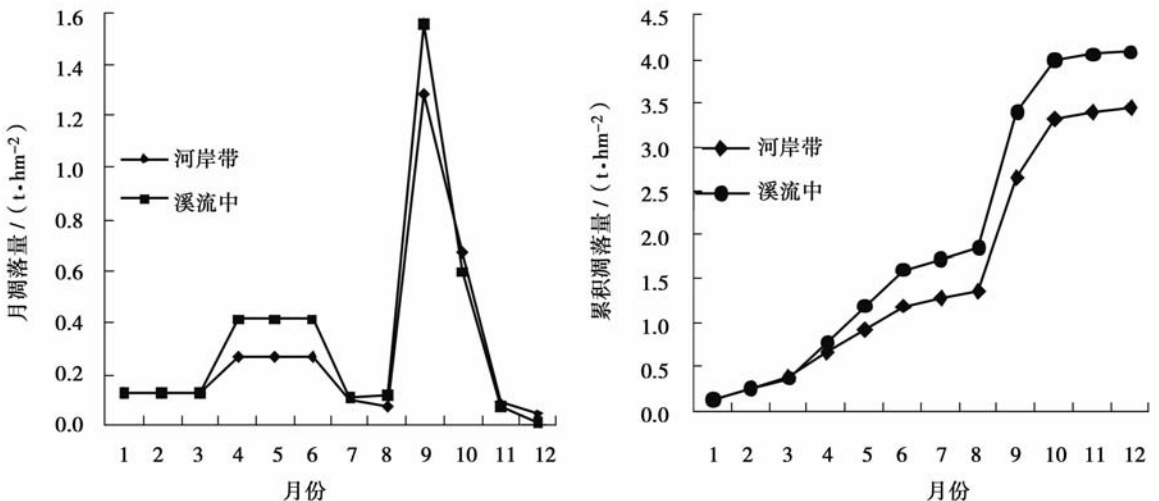


图1 河岸带与溪流中的月凋落量和全年累积凋落过程

2.2.2 凋落物各组分的凋落过程动态 分别将河岸带和溪流中凋落物各组分的逐月凋落量分析结果

表2 溪流中和河岸带凋落物各组分的月凋落量

t · hm⁻²

月份	阔叶		针叶		树叶		花和果实		树皮		杂物	
	河岸带	溪流中	河岸带	溪流中	河岸带	溪流中	河岸带	溪流中	河岸带	溪流中	河岸带	溪流中
1	2.4	5.1	19.9	28.5	85.6	59.2	10.4	11.0	4.5	8.2	4.3	12.4
2	2.4	5.1	19.9	28.5	85.6	59.2	10.4	11.0	4.5	8.2	4.3	12.4
3	2.4	5.1	19.9	28.5	85.6	59.2	10.4	11.0	4.5	8.2	4.3	12.4
4	21.6	8.8	49.9	67.9	96.9	147.2	42.8	79.7	14.2	49.7	43.6	59.5
5	21.6	8.8	49.9	67.9	96.9	147.2	42.8	79.7	14.2	49.7	43.6	59.5
6	21.6	8.8	49.9	67.9	96.9	147.2	42.8	79.7	14.2	49.7	43.6	59.5
7	14.2	16.3	13.1	18.2	26.1	8.6	9.1	7.6	6.5	11.6	35.3	50.6
8	43.0	46.6	5.6	5.7	2.4	38.2	2.6	0.9	2.7	0.4	21.2	27.6
9	1 150.0	1 414.9	46.7	39.2	17.9	34.6	10.3	7.6	5.7	7.5	53.3	51.4
10	115.4	111.8	441.4	421.5	14.8	23.9	57.8	15.8	13.2	0.0	25.4	23.8
11	7.2	8.4	21.1	21.2	30.4	22.3	6.1	1.1	0.6	3.5	25.0	17.9
12	0.0	3.2	4.3	0.0	20.8	0.0	0.0	0.0	1.6	8.0	18.1	5.4
全年合计	1 401.7	1 642.8	741.4	794.9	660.0	747.0	245.5	305.3	86.4	204.6	322.1	392.4

为进一步分析凋落物各组分的凋落过程,列出溪流中和河岸带凋落物各组分9—10月的旬凋落量

(表3),并分析阔叶和针叶在8月下旬到10月下旬的旬凋落过程(图2)。

表3 溪流中和河岸带凋落物各组分9—10月的旬凋落量

t · hm⁻²

项目	阔叶		针叶		枝条		花果		树皮		杂物	
	河岸带	溪流中	河岸带	溪流中	河岸带	溪流中	河岸带	溪流中	河岸带	溪流中	河岸带	溪流中
9月上	49.7	74.1	5.0	3.5	15.4	16.5	4.3	2.3	2.4	0.6	24.8	25.8
9月中	50.6	56.4	0.6	1.6	1.0	0.5	0.4	0.0	0.2	6.5	6.4	8.1
9月下	1 049.7	1 284.4	41.1	34.0	1.5	17.6	5.5	5.2	3.2	0.3	22.1	17.5
10月上	97.1	98.6	230.3	263.3	4.7	22.1	10.4	11.1	12.1	0.0	10.2	7.5
10月中	15.5	9.9	181.9	125.5	9.9	1.6	46.8	3.8	0.6	0.0	7.3	8.4
10月下	2.8	3.3	29.2	32.7	0.2	0.2	0.7	0.8	0.4	0.0	8.0	7.9

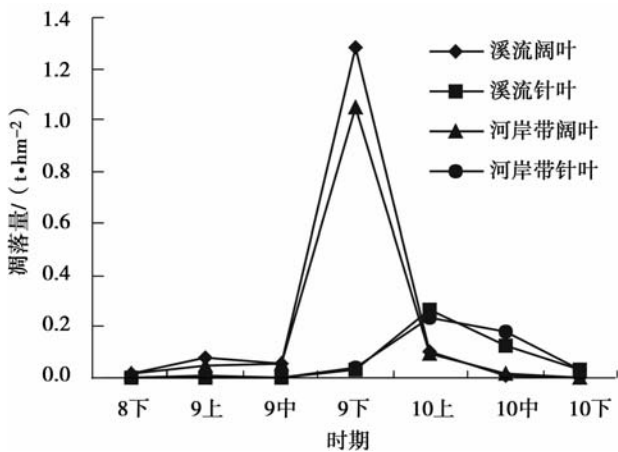


图2 阔叶和针叶8月下旬到10月下旬的凋落过程

可见,溪流中与河岸带阔叶和针叶都在9到10月分别出现一个集中凋落高峰期,两种立地下凋落量变化的格局基本相同。其中,阔叶的凋落期集中

在9月下旬,与山杨、红桦、白桦、辽东栎及土庄绣线菊等阔叶乔灌木树种的季相变化规律一致;而针叶凋落期集中在10月上旬到10月中旬,也有一个显著的凋落高峰期,出现在10月上旬,比阔叶晚1旬,凋落高峰期较阔叶长。

值得注意的是,华北落叶松和云杉的枝条和球果脱落的时间格局在凋落过程中得到了反映。溪流中和河岸带的相对差异,反映了河岸带上阔叶树组成比例在靠近河流边缘更高的实际。

2.3 凋落叶分解过程和累积分解速率

2.3.1 不同条件下凋落叶的失重过程分析 按分解样点位置到水体的距离10 m和20 m,分别统计阴坡、阳坡和水中凋落叶的分解失重率,分析坡向和水分条件对凋落叶累积分解过程的影响,结果见图3。

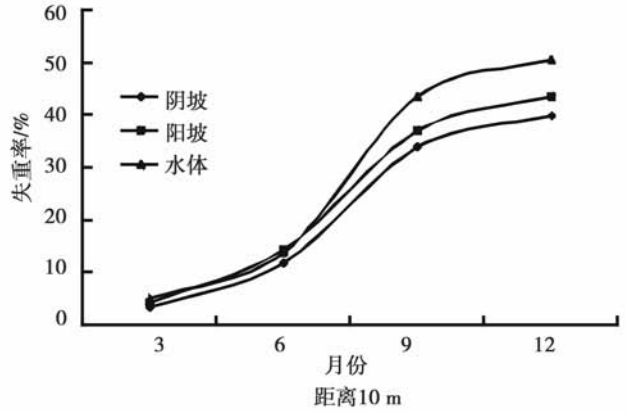
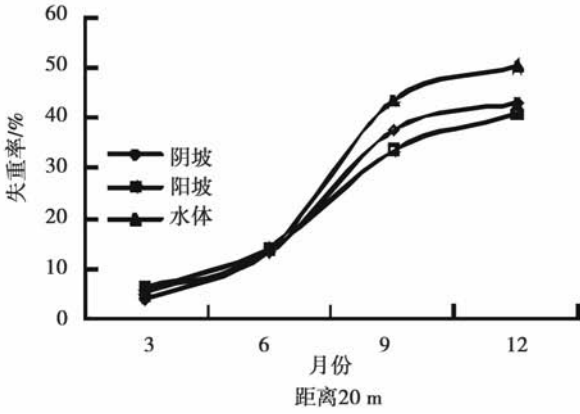


图3 两个距离梯度上不同坡向河岸林下凋落叶累积分解速率分析比较

由图3可见,在不同分解环境下,凋落叶的累积分解速率有明显差异,凋落叶在水体中的失重率最大,在与水体20 m距离上,阴坡的分解速率高于阳

坡,而在10 m距离上则是阳坡的分解速率高于阴坡。

分别阴坡和阳坡,统计分析分解样点位置到水体的距离对凋落叶分解失重过程的影响,结果见图4。

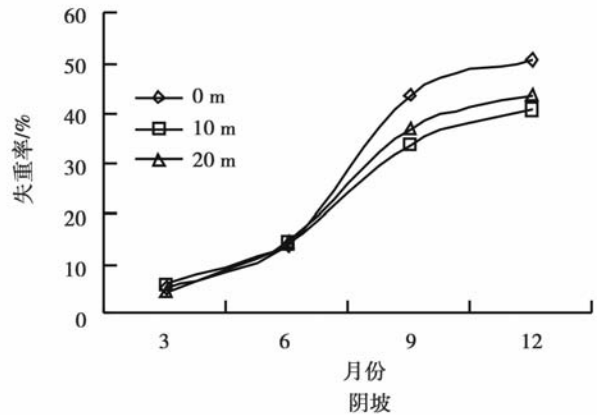
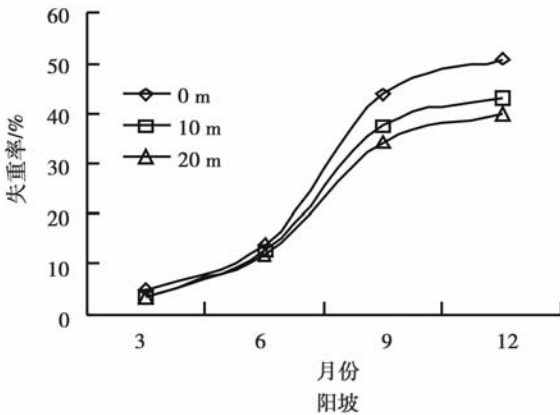


图4 不同坡向河岸林地不同距离梯度上凋落叶累积分解速率分析

由图4可见,在不同坡向上,与水体的距离也会影响凋落叶的累积分解速率,阳坡上与水体距离近时凋落叶分解速率高,而在阴坡上,与水体距离远时凋落叶分解速率高,在水体中的失重率最高。

就整体而言,凋落叶的累积分解过程如图5所示。从6月到9月是研究地区凋落叶快速分解期,9月以后的分解失重率低于3到6月的春季失重率。

2.3.2 不同条件下凋落叶分解速率 用凋落物分解的年失重率 Olson 指数模型 $Y = 1 - e^{-kt}$ 可以描述凋落物分解过程,用凋落物分解系数 k 反映凋落物分解速率,可利用模型计算凋落物半分解期和95%分解期。凋落物的95%分解期可表示凋落物的周转期^[6]。其中, Y 为凋落物年失重率; t 是分解时间。

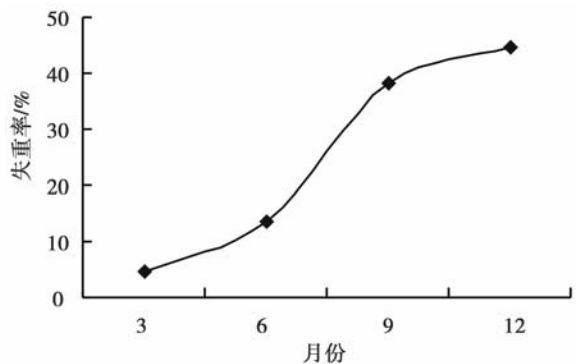


图5 凋落叶累积失重过程

由各实验点的分解袋失重率和分解时间的实验数据,分别不同地点拟合 Olson 模型,计算凋落叶的半分解期和95%分解期,结果见表4。

表4 溪流中和距离河岸不同位置上的凋落叶分解速率参数

地点	与河岸的距离/m	分解系数	半分解期/a	95%分解期/a
阳坡	10	0.531 9	1.30	5.63
	20	0.440 1	1.58	6.81
阴坡	10	0.433 7	1.60	6.91
	20	0.604 2	1.15	4.96
溪流中	0	0.712 9	0.97	4.20

由表4可见,由于凋落叶在河水中受水流外力冲蚀和微生物作用,加速了分解过程,分解系数为0.712 9,半分解期不到1年,95%分解期为4.2年。在河岸林下腐殖质层内,阴坡水分较为充足,但温度较低,离河流越远温度越高,凋落叶分解较快,距离20 m的河岸林内,分解系数为0.604 2,半分解期为1.15年,95%分解期为4.96年;阳坡与阴坡相比温度较高,而水分条件相对较差,离河流越远越干燥,凋落叶分解较慢,在距离20 m的阳坡河岸林内,分解系数为0.440 1,半分解期为1.58年,95%分解期为6.81年。

3 讨论与结论

3.1 讨论

3.1.1 河岸林的年凋落量和组分 森林年凋落量随地理气候区和森林类型的不同有很大差异,从海南海莲红树林的 $12.55 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ^[10],到属于北方森林的兴安落叶松林的 $1.529 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ^[12]。总体上有随纬度降低而提高的趋势^[2]。而在同一地理气候区内不同森林类型间的差别也很大,同在中温带地区的长白山落叶阔叶林与兴安落叶松林相差 $3.625 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ^[11]。即使是相同类型森林,不同研究地点或同一森林类型的不同林龄阶段年凋落量也有显著差异^[12]。本研究结果表明,研究地区河岸林的年凋落量在河岸带中为 $3.46 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,溪流中为 $4.09 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,由于溪流宽度平均仅1.5 m,而溪流附近的树木生长更加茂盛,溪流中的年凋落量大于河岸带内,而且与本课题组对研究地区华北落叶松林的研究结果 $19.15 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 相比,差距很大。河岸林的树叶年凋落量为 $2.14 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,占总凋落量的62%;树枝凋落量为 $0.66 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,仅占总凋落量的19%。华北落叶松林的树叶凋落量为 $6.84 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,仅占总凋落量的35.7%;树枝凋落量为 $10.44 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,占到总凋落量的54.4%。可见森林凋落量的影响因素较多,同一地区的森林树种组成对年凋落量和凋落物组成的影响很大。

3.1.2 河岸林凋落叶的分解速率 采用一定期间凋落物的年失重率可以描述凋落物分解速率,反映其分解过程,但失重率在不同分解阶段是变化的,而用Olson模型拟合凋落物失重过程获得的模型参数 k ,可以反映凋落物整个分解过程的基本特征,有更强的可比性。本研究得出的凋落叶分解失重率和分解常数,低于亚热带森林凋落物40%~70%的年分解速率^[13-14],但高于许多温带森林20%~30%的凋落物分解速率^[15]。

表5 不同森林类型凋落叶失重率和分解常数的比较

森林类型	失重率/%	分解常数	资料来源
尖峰岭热带山地雨林	63.61	2.172	[16]
三明针阔混交林	—	1.188	[17]
三明福建柏林	83.47	1.800	[8]
关帝山华北落叶松林	30.00	0.357	[9]
帽儿山樟子松林	34.64	0.426	[15]
长白山北部落叶松林	25.70	0.301	[18]

3.2 主要研究结论

(1)文峪河上游山地河岸林在河岸带中的年凋落量为 $3.46 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,溪流中的年凋落量为 $4.09 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。河岸带内和溪流中的凋落量季节动态格局基本一致,逐月动态过程均表现为双峰型,两个高峰都分别出现在4月到6月和9月下旬到10月上旬,其中4月到6月的凋落量在河岸带和溪流中分别占年凋落量的23.3%和30.3%,9月下旬到10月上旬的凋落量在河岸带和溪流中分别占年凋落量的56.5%和52.7%。

(2)河岸带和溪流中凋落物各组分中,枝叶凋落量分别占总凋落量的81.09%和77.92%,叶凋落量分别占62.00%和59.64%,阔叶凋落量分别占40.55%和40.19%。凋落物各组分按比例从大到小依次为阔叶、针叶、树枝、杂物、花果、树皮。

(3)文峪河上游山地河岸林凋落叶在不同分解环境下的分解速率差异很明显。水体中的分解速率比在河岸带林下腐殖层内快,分解系数为0.712 9,半衰期为0.97年;而在河岸林下,距离河岸近的地方阳坡的分解速率比阴坡快,分解系数和半衰期分

别为 0.531 9、0.433 7 和 1.30 年、1.60 年;距离河岸远一些的地方阴坡的分解速率比阳坡快,分解系数和半衰期分别为 0.604 2、0.440 1 和 1.15 年、1.58 年。

参考文献:

- [1] 王凤友. 森林凋落量研究综述[J]. 生态学进展, 1989, 6(2): 8 - 89
- [2] Benfield E F. Comparison of litterfall input to streams [J] J N Am Benthol Soc, 1997, 16: 3 - 161
- [3] Facelli J. M., Pickett S T. A. Plant litter: its dynamics and effects on plant community structure[J]. Bot Rev, 1991, 57: 1 - 32
- [4] Facelli J M. Indirect effects of plant litter affect the establishment of woody seedling in oldfields[J]. Ecology, 1994, 75: 1727 - 1735
- [5] 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): 1534 - 1544
- [6] 邹 碧, 李志安, 丁永祯, 等. 南亚热带 4 种人工林凋落物动态特征[J]. 生态学报, 2006, 26(3): 715 - 721
- [7] 江明喜, 邓红兵, 唐 涛, 等. 香溪河流域河流中树叶分解速率的比较研究[J]. 应用生态学报, 2002, 13(1): 27 - 30
- [8] 杨玉盛, 陈银秀, 何宗明, 等. 福建柏和杉木人工林凋落物性质的比较[J]. 林业科学, 2004, 40(1): 2 - 10
- [9] 郭晋平, 丁颖秀, 张芸香. 关帝山华北落叶松林凋落物累积和分解过程及其养分动态研究[J]. 生态学报, 2009, 29(10): 2684 - 2695
- [10] 林 鹏, 卢昌义, 王恭礼, 等. 海南岛河港海莲红树林凋落物动态的研究[J]. 植物生态学与地植物学学报, 1990, 14(1): 69 - 74
- [11] 李雪峰, 张 岩, 牛丽君, 等. 长白山白桦(*Betula platyphlla*) 纯林和白桦山杨(*Populus davidiana*) 混交林凋落物的分解[J]. 生态学报, 2007, 27(5): 1783 - 1790
- [12] 罗 辑, 程根伟, 宋孟强, 等. 贡嘎山峨眉冷杉林凋落物的特征[J]. 植物生态学报, 2003, 27(1): 59 - 65
- [13] 许新健, 陈金耀, 俞新妥. 武夷山六种杉木伴生树种落叶养分归还的研究[J]. 福建林学院学报, 1995, 15(3): 213 - 217
- [14] 屠梦照, 姚文华, 翁 轰, 等. 鼎湖山南亚热带常绿阔叶林凋落物的特征[J]. 土壤学报, 1993, 30(1): 35 - 41
- [15] 沈海龙, 丁宝永, 沈国舫, 等. 樟子松人工林下针阔叶凋落物分解动态[J]. 林业科学, 1996, 32(5): 393 - 402
- [16] 卢俊培, 刘其汉. 海南岛尖峰岭热带林凋落叶分解过程的研究[J]. 林业科学研究, 1989, 2(1): 25 - 32
- [17] 杨玉盛, 陈光水, 郭剑芬, 等. 杉木观光木混交林凋落物分解及养分释放的研究(英文)[J]. 植物生态学报, 2002, 26(3): 275 - 282
- [18] 张彦东, 王庆成, 李清林. 水曲柳落叶松纯林与混交林的枯叶分解动态[J]. 东北林业大学学报, 1999, 27(4): 5 - 8