

沙漠公路防护林凋落物量、组成及动态

张雪梅^{1,2,3}, 王永东¹, 徐新文¹, 雷加强¹

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所 国家荒漠-绿洲生态建设工程技术研究中心, 新疆 乌鲁木齐 830011; 2. 新疆大学 资源与环境科学学院, 新疆 乌鲁木齐 830046; 3. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 凋落物由植物产生并最终归还给土壤, 为分解者提供物质和能量的来源。以塔克拉玛干沙漠公路沿线防护林为对象, 2014 年对各林龄防护林内的凋落物量、凋落物组成及动态变化进行研究。结果表明: 沙漠公路 8、10、13、16、19 a 防护林年总凋落量分别为 8 301.96、9 089.71、10 540.64、6 184.70、7 929.95 kg·hm⁻²。各林龄防护林凋落物组成均以乔木状沙拐枣(*Calligonum arborescens*)同化枝、梭梭(*Haloxylon ammodendron*)同化枝和多枝柽柳(*Tamarix ramosissima*)枝凋落物占的比例最大, 3 种凋落物总量占年总凋落量的比例分别为 89.05%、79.16%、75.28%、78.75%、81.14%。各凋落物组分在不同林龄间差异显著($P < 0.05$)。不同林龄防护林皆表现出春、秋季凋落量高, 夏、冬季凋落量低的季节动态。各林龄防护林凋落物总量及主要凋落物的凋落量月动态变化曲线均呈现三峰型, 在 3—5 月、7 月和 9—11 月出现峰值, 叶、果和其他的凋落量呈不规则变化, 花只在 4—8 月凋落。

关键词: 凋落物量; 凋落物组分; 动态变化; 防护林; 林龄

文章编号: 1000-694X(2017)06-1142-08

DOI: 10.7522/j.issn.1000-694X.2016.00119

中图分类号: Q948.1

文献标志码: A

0 引言

凋落物作为生态系统中物质循环和能量流动过程中的重要因素^[1], 是连接生态系统中植物和土壤连续体养分循环的纽带^[2], 在维持土壤肥力、植物生长、生态恢复和更新^[3]、促进生态系统养分和碳循环、养分平衡、涵养水源、保持水土功能等方面发挥着重要作用^[4-5]。凋落量指单位时间内单位面积上所有凋落物的总量, 是生态系统生物量的重要组成部分, 是凋落物分解特征和生态功能研究的前提^[6], 能间接反映出生态系统的初级生产力水平^[4]。凋落量、动态变化及凋落节律直接影响林地的养分状况和碳库^[7], 对于维持人工林林地养分平衡、正确认识和了解全球森林碳循环具有重要意义^[8-11]。国内自 20 世纪 80 年代开展了不同温度带、地区和植被类型的凋落量及组成的动态、凋落物分解的过程及影响因素、生态功能等方面的研究^[12-13], 揭示了中国不同区域主要生态系统凋落量、凋落物分解过程、养分动态、影响因素等规律和机制。但是, 由于森林凋落物受到诸多因素的影响, 学者们的研究结果间可比性较差。此外, 干旱区沙漠人工防护林在生境、

管护方式和林龄等方面存在差别, 其凋落量特征也有所差异。

塔克拉玛干沙漠位于新疆塔里木盆地中心, 是中国最大的流动沙漠。整个沙漠东西长约 1 000 km, 南北宽约 400 km, 面积达 33 万 m²。南北贯穿的塔克拉玛干沙漠公路, 全长 562 km, 是世界上穿越流动沙漠最长的二级公路。为了塔克拉玛干沙漠公路风沙危害的防治和持续运行, 2005 年沙漠公路两侧建成了生物防护体系, 防护林带全长 436 km, 宽 72~78 m, 林地面积 31.28 km², 种植林木达 2 000 万株。对咸水滴灌下极端干旱的塔克拉玛干沙漠公路防护林中凋落量及其组成动态的研究尚缺乏。塔克拉玛干沙漠腹地有着不同年限种植的防护林地, 这些林地的背景条件(土壤质地、灌溉水矿化度、灌溉制度)和种植树种基本一致, 为比较不同林龄防护林的凋落量特征提供了基础条件。本研究以塔克拉玛干沙漠公路不同林龄防护林为对象, 比较不同林龄防护林及 3 种植物凋落量、组成及动态变化的差异, 以期对沙漠公路防护林的经营管理和阐明该地区物质循环过程提供科学依据。这对防护林生态系统碳循环和养分生物地球化学循环研

收稿日期: 2016-05-23; 改回日期: 2016-08-23

资助项目: 国家自然科学基金项目(41271341, 41030530); 塔里木油田分公司综合项目(971012080007)

作者简介: 张雪梅(1985—), 女, 新疆库尔勒人, 博士研究生, 主要从事恢复生态学研究。E-mail: zhangxinliang6@foxmail.com

通信作者: 徐新文(E-mail: sms@ms.xjb.ac.cn)

究,以及维护生态系统稳定都具有重要意义。

1 研究区与研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于塔克拉玛干沙漠腹地(39°07′—39°08′N,83°39′—83°44′E,海拔1 078~1 108 m)。属极端干旱的暖温带大陆气候,年平均气温 12.7 °C,最热月 7 月的平均气温 28.2 °C,极端最高气温 45.6 °C,最冷月 12 月的平均气温 -8.1 °C,极端最低气温 -22.2 °C。降水集中在 6—7 月,年平均降水量 11~50 mm,年平均蒸发量 3 639 mm,年平均相对湿度 29.4%。年平均风速 2.5 m·s⁻¹,最大瞬时风速 20 m·s⁻¹,年起沙风日数 130 d 以上,风向以 N、NNE、NE、ENE、E 为主^[14-15]。土壤以流动风沙土为主,自然植被种类贫乏,群落结构简单,盖度极低。沙漠公路防护林沿线缺乏地表径流,但地下水储量较大,水质矿化度为 2.6~30 g·L⁻¹,其中 90% 以上地段大于 4 g·L⁻¹^[15]。特殊的地理环境及灌溉水资源决定了塔克拉玛干沙漠公路防护林极其匮乏的植物资源,防护林带内以耐盐碱、干旱、高温、风蚀沙埋等抗逆性极强的梭梭(*Haloxylon ammodendron*)、沙拐枣属(*Calligonum*)、怪柳属(*Tamarix*)树种为主^[14]。不同林龄防护林为每年 3—11 月每 15 d 灌水 1 次,每次灌水量 30 L·m⁻²,

11 月至翌年 2 月免灌,灌溉就地取用地下水,矿化度为 5 g·L⁻¹。

1.2 研究方法

在塔克拉玛干沙漠腹地选择不同林龄防护林地作为样地,分别为 8 a(2006 年定植)、10 a(2004 年定植)、13 a(2001 年定植)、16 a(1998 年定植)、19 a(1995 年定植)。每个样地内的乔木状沙拐枣(*Calligonum arborescens*)、梭梭和多枝怪柳(*Tamarix ramosissima*)林带各随机放置 10 个凋落物收集器(规格为 50 cm×50 cm,高 20 cm,距地面高度约 10 cm),将 0.5 mm 孔径的尼龙网固定在收集器内。2014 年 1—12 月,每月月底收集 1 次凋落物,将收集到的凋落物装入信封后迅速带回实验室。各收集器内的凋落物按枝、叶、花、果(种子)、其他(杂物和碎屑)等组成类型分类筛选,然后于烘箱内 80 °C 条件下烘干至恒重后称重,计算 3 种植物各组分的凋落量。

塔克拉玛干沙漠公路不同林龄防护林地由于地理位置的差异,林带配置不同。防护林林地植株间距均为 1 m×1 m,8 a 林地为植物单独成片种植,10、13、16、19 a 防护林林地为 3 种植物成行轮种模式。样地内随机选取 3 种植物的植株各 15 株测定其株高和冠幅作为基本数据,基本状况调查结果如表 1 所示。

表 1 不同林龄防护林地基本状况

Table 1 Characteristics of the different age shelterbelt

林龄/a	地理位置	海拔/m	植物种	平均株高/m	平均冠幅/m EW×NS
8	39°08′N,83°44′E	1 108	乔木状沙拐枣	1.62	1.55×1.59
			梭梭	2.21	1.84×1.81
			多枝怪柳	1.74	1.56×1.62
10	39°08′N,83°42′E	1 098	乔木状沙拐枣	1.66	1.56×1.78
			梭梭	2.24	2.22×2.25
			多枝怪柳	2.20	2.25×2.06
13	39°07′N,83°41′E	1 095	乔木状沙拐枣	2.00	2.44×2.34
			梭梭	2.36	1.86×2.05
			多枝怪柳	2.50	2.02×2.10
16	39°07′N,83°42′E	1 078	乔木状沙拐枣	1.85	1.69×1.85
			梭梭	2.38	1.78×2.02
			多枝怪柳	2.62	1.99×1.71
19	39°08′N,83°39′E	1 094	乔木状沙拐枣	2.51	2.38×2.69
			梭梭	2.80	2.52×2.45
			多枝怪柳	2.99	2.66×2.81

1.3 数据处理

运用 Origin8.0 作图,用 SPSS16.0 对数据进行统计分析。沙漠公路不同林龄防护林凋落物及组分年凋落量之间的显著性影响采用单因子方差分析(ANOVA)和最小显著差异法(LSD),显著性水平 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 防护林凋落量及其组成

沙漠公路不同林龄防护林凋落物各组分年凋落量如表 2 所示。塔克拉玛干沙漠公路 8、10、13、16、19 a 防护林年总凋落量分别为 8 301.96、9 089.71、10 540.64、6 184.70、7 929.95 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。凋落物的年总凋落量在植物种间存在显著性差异($P <$

0.05)。8、13、16、19 a 防护林内多枝怪柳的年总凋落量最大,其次为梭梭,乔木状沙拐枣最小;10 a 防护林内 3 种植物的年总凋落量则表现为乔木状沙拐枣 > 多枝怪柳 > 梭梭。植物凋落物各组分年凋落量占年总凋落量的比例依从大到小排列,乔木状沙拐枣为同化枝、果、花、其他,梭梭为同化枝、老枝、果、其他,多枝怪柳为枝、叶、其他、花。8、10、13、16、19 a 防护林内乔木状沙拐枣同化枝、梭梭同化枝和多枝怪柳枝的凋落总量分别占年总凋落量的 89.05%、79.16%、75.28%、78.75%、81.14%。2 种植物年凋落量极值出现的林龄不同,乔木状沙拐枣、梭梭和多枝怪柳年总凋落量最低值均出现在 16 a 防护林地,年总凋落量最大值分别出现在 8、10、13 a 防护林地。随着防护林林龄的增加,同化枝、花和果的凋落量表现出先增加后减少,枝和叶的凋落量呈现先降低后增加的趋势。不同林龄防护林地各组

表 2 不同林龄防护林地年总凋落量($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)及各组分的百分比

Table 2 Annual litterfall biomass ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) and components percentages in different age shelterbelt

物种	组成	林龄/a				
		8	10	13	16	19
乔木状沙拐枣	同化枝	1 510.7±127.7(86.04) ^C	3 075.9±247.5(79.55) ^B	2 278.2±155.8(68.97) ^A	958.9±90.7(64.88) ^A	1 771.3±176.6(79.39) ^A
	果	58.1±5.3(3.31) ^B	383.1±55.1(9.91) ^A	435.8±69.2(13.19) ^A	289.8±26.1(19.61) ^A	237.9±18.9(10.66) ^A
	花	155.2±43.2(8.84) ^A	310.9±67.8(8.04) ^C	226.0±54.1(6.84) ^C	69.7±36.6(4.72) ^B	137.5±43.9(6.16) ^A
	其他	31.9±2.2(1.82) ^A	96.7±13.1(2.5) ^A	363.3±26.9(11) ^B	159.5±11.7(10.8) ^A	84.5±8.4(3.79) ^A
	总量	1 755.9±137.2(100) ^{Aa}	3 866.6±251.0(100) ^{Ba}	3 303.2±163.4(100) ^{Ba}	1 477.9±90.8(100) ^{Aa}	2 231.1±175.1(100) ^{Aa}
梭梭	同化枝	2 381.1±168.3(90.89) ^A	1 890.1±140.3(76.41) ^A	2 812.8±174.1(79.29) ^B	1 533.5±102.6(80.24) ^B	2 305.6±151.2(82.48) ^A
	老枝	213.2±20.3(8.14) ^A	215.8±20.7(8.72) ^B	263.5±22.7(7.43) ^A	134±12.1(7.01) ^B	322.3±36.2(11.53) ^A
	果	16.7±1.1(0.64) ^A	233±17.2(9.42) ^C	284.1±6.2(8.01) ^A	139.4±12.0(7.29) ^B	145.0±8.6(5.19) ^A
	其他	8.8±0.1(0.34) ^A	134.8±8.5(5.45) ^A	187.1±25.3(5.27) ^B	104.3±6.2(5.46) ^A	22.3±1.3(0.8) ^A
	总量	2 619.9±169.3(100) ^{Ab}	2 473.6±159(100) ^{Ab}	3 547.5±195.9(100) ^{Bb}	1 911.2±110.6(100) ^{Ab}	2 795.3±159.6(100) ^{Ab}
多枝怪柳	枝	3 500.8±281.9(89.17) ^C	2 229.4±257.5(81.08) ^A	2 843.6±245.1(77.06) ^B	2 378±224.1(85.06) ^A	2 356.0±255.4(81.2) ^A
	叶	398.2±25.1(10.14) ^C	176.0±12.4(6.4) ^A	266.1±24.1(7.21) ^B	127.4±9.0(4.56) ^A	247.7±21.2(8.54) ^A
	花	15.2±0.5(0.39) ^C	107.5±52.1(3.91) ^A	304.5±57.8(8.25) ^B	75.6±35.0(2.7) ^A	113.5±72.4(3.91) ^A
	其他	12.0±0.3(0.3) ^B	236.6±19.8(8.6) ^A	275.6±19.8(7.47) ^A	214.6±17.5(7.68) ^A	184.3±14.1(6.35) ^A
	总量	3 926.2±295.3(100) ^{Ac}	2 749.5±254(100) ^{Ab}	3 689.9±241.3(100) ^{Bb}	2 795.6±218.8(100) ^{Ac}	2 901.6±250.7(100) ^{Ac}

括号内的数据为百分数(%),同行不同大写字母为林龄间差异显著($P < 0.05$),同列不同小写字母为为物种间差异显著($P < 0.05$)。

分的年凋落量间存在显著性差异($P < 0.05$)。

2.2 防护林凋落量及组成的动态变化

塔克拉玛干沙漠公路不同林龄防护林的凋落量均显示出明显的月动态变化(图 1)。8、10、13、16、19 a 防护林凋落量均呈多峰型,峰值均出现在 3—5 月、7 月、11 月。不同林龄防护林凋落量最高值均出

现在 11 月,第二峰值出现的月份不尽相同,其中 8 a 和 10 a 防护林凋落量最大值分别出现在 5 月和 4 月,13、16、19 a 防护林凋落量最大值均出现在 3 月。

不同林龄防护林凋落量季节变化格局不同(表 3),春、夏、秋、冬四季总凋落量分别为 13 819.41、5 682.99、18 204.11、4 338.44 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,占年总凋落量的 32.87%、13.51%、43.30%和 10.32%。

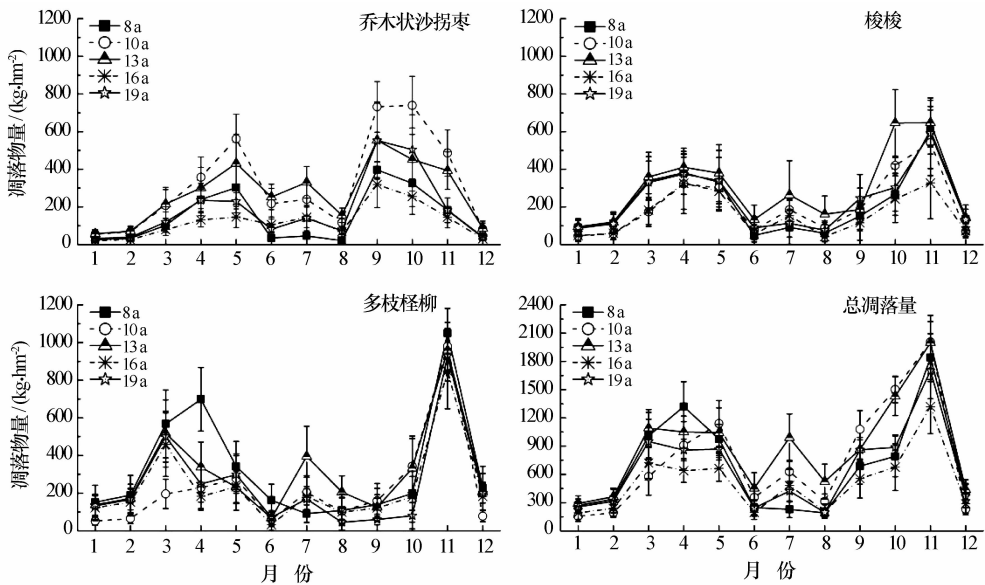


图 1 不同林龄防护林地凋落物量月动态

Fig. 1 Monthly changes of litterfall biomass in different ages

可见防护林内凋落物变化均呈现春季和秋季高两个凋落高峰,且秋季凋落量高于春季;而夏季和冬季凋落量较低。8 a 和 19 a 防护林冬季凋落量高于夏季,10、13、16 a 防护林夏季凋落量高于冬季。2 种植物凋落量的季节动态不同(图 1)。乔木状沙拐枣和梭梭春季凋落的高峰分别在 5 月和 4 月;多枝桉

柳春季凋落高峰于 8 a 防护林在 4 月,10 a 防护林在 5 月,13、16、19 a 防护林在 3 月。乔木状沙拐枣秋季凋落的高峰出现在 9 月,梭梭和多枝桉柳秋季凋落的高峰期在 11 月。不同林龄防护林凋落量在夏季和秋季差异达到显著水平($P < 0.05$),春季和冬季无显著性差异($P > 0.05$)。

表 3 不同林龄防护林凋落物量(kg·hm⁻²)季节动态

Table 3 Seasonal variation of litterfall biomass (kg·hm⁻²) in different ages

林龄/a	春季(3—5月)	夏季(6—8月)	秋季(9—11月)	冬季(12月翌年2月)
8	3 305.78±188.81(39.82) ^{Aa}	667.01±28.49(8.03) ^{Ab}	3 318.94±637.15(39.98) ^{ABa}	1 010.23±67.2(12.17) ^{Ab}
10	2 626.96±282.84(28.90) ^{Aa}	1 297.43±171.76(14.27) ^{Ca}	4 587.86±464.57(50.47) ^{1Bb}	577.45±38.5(6.35) ^{Aab}
13	3 185.6±26.43(30.22) ^{Aa}	1 968.23±291.54(18.67) ^{1Bb}	4 294.68±566.38(40.74) ^{Bc}	1 092.13±72.81(10.36) ^{Ad}
16	2 024.91±41.55(32.74) ^{Aa}	887.68±161.34(14.35) ^{Ab}	2 553.03±410.67(41.28) ^{Aa}	719.08±48.09(11.63) ^{Ab}
19	2 676.16±49.87(33.76) ^{Aa}	862.64±119.88(10.88) ^{Ab}	3 449.6±478.15(43.51) ^{Aa}	939.56±58.33(11.85) ^{Ab}

括号内为季节凋落量占年总凋落量的百分比,同列不同大写字母为林龄间差异显著($P < 0.05$),同行不同小写字母为季节间差异显著($P < 0.05$)。

2.3 防护林凋落物不同组分的凋落节律

不同林龄防护林 3 种植物不同组分凋落量的凋落节律有一定的差异(图 2)。不同林龄防护林乔木状沙拐枣同化枝、梭梭同化枝和多枝桉柳枝凋落量月动态变化与总凋落量趋势基本一致,均在 3—5 月、7 月和 9—11 月出现峰值。各林龄防护林内乔木状沙拐枣同化枝凋落量最大值出现在 9 月;8、10、16、19 a 防护林内梭梭同化枝、以及各林龄防护林内多枝桉柳枝凋落量最大值均出现在 11 月,13 a 防护林内梭梭同化枝凋落物最大值出现在 10 月。各林

龄防护林内乔木状沙拐枣果、梭梭果和老枝、多枝桉柳叶和其他的凋落月动态呈不规则变化,乔木状沙拐枣果凋落量最大值出现在 6 月,梭梭枝凋落量最大值出现在 5 月,梭梭果凋落量最大值出现在 10 月,多枝桉柳叶凋落量最大值出现在 5 月。乔木状沙拐枣花仅在 4—7 月凋落,多枝桉柳花仅在 5—8 月凋落,凋落的最大值均出现在 5 月。

3 讨论

凋落量的动态变化是凋落物研究的重要内容,是凋落物分解和枯枝落叶层储存研究的基础,是防

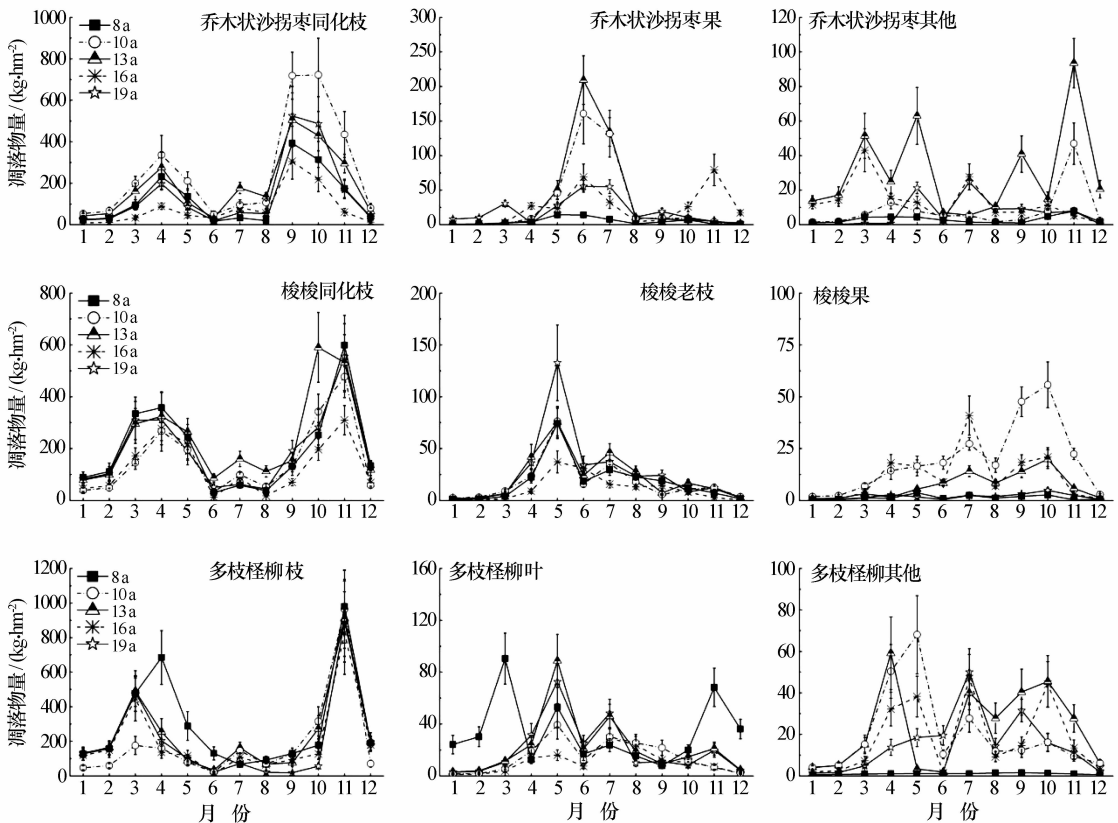


图 2 不同林龄防护林地凋落物组分动态变化

Fig. 2 Monthly changes of each litter component in different ages

护林土壤自肥的主要来源。防护林内的植物通过自我更新,每年以凋落物的形式归还林地,为土壤养分的输入和植物的继续生长繁殖提供基础养分条件。沙漠公路防护林 3 种植物的年总凋落量呈现出多枝怪柳>梭梭>乔木状沙拐枣的规律。这在一定程度上反映了防护林内 3 种植物的凋落物对林地肥力和凋落物现存量的贡献程度,即凋落量越高能返回林地的养分就越多,地表积累的凋落物量越高,对土壤肥力改善的贡献潜力就越大。

防护林凋落量具有明显的动态变化规律,动态模式的出现主要依赖于防护林组成物种的遗传和生态学特性,还受气候条件(温度、降水和风等)、地理因素等的影响^[16-17]。同一地区相同环境条件下,凋落量随植物发育阶段、林分密度、林地结构及组成的不同而变化^[18]。沙漠公路防护林林地的林分密度和林地结构及组成基本一致,防护林的林龄成为影响凋落量及组成成分的主要因素。防护林从幼龄林逐渐到过熟林的过程中,植株的发育和生长状况、新陈代谢和再生能力随之发生变化,一般植株在生长的旺盛期凋落量相对最大^[19]。幼龄(8 a)、中龄(10、13 a)、成熟(16、19 a)防护林年凋落量表现出先升高

后降低的趋势,中龄林凋落量最高,幼龄林高于成熟林。一方面可能是由于随着林龄的增加,植株逐渐进入生长旺盛期,较快的新城代谢产生大量的枯枝落叶,在中龄林达到凋落高峰,随后植株的生长减缓或趋于稳定,凋落量有所降低;另一方面也可能是随着植物的生长,土壤的透气性、水分状况、养分状况及微生物活动等改变了,良好的土壤环境间接地影响防护林地凋落物量^[20-21]。乔木状沙拐枣凋落量最高值出现在 10 a 防护林,梭梭和多枝怪柳出现在 13 a 防护林,乔木状沙拐枣相对较早进入生长旺盛期,这是不同植物种生长发育过程差异的间接体现。

受到植物生物学特性和研究区域气候因子的综合影响^[22-23],林地凋落物及组分呈现出单峰型、双峰型和多峰型的动态变化模式^[24-25]。沙漠公路 8、10、13、16、19 a 防护林总凋落物量月动态变化模式相同,均在 3—5 月、7 月和 11 月出现峰值,在全年中,各林龄防护林地凋落高峰期的凋落量占年总凋落量的 70.97%~79.80%。不同植物种生长的时间和速率不同,凋落峰值出现的时间有所差异,8 a 防护林在 4 月出现峰值、10 a 防护林在 5 月出现峰值,13、16、19 a 防护林皆在 3 月出现峰值。3 月是

植物进入生长的时间,代谢活动逐渐旺盛,养分循环开始加速,老枝叶中储存的养分大量转移入新生枝叶促进其生长,老枝叶枯萎脱落。同时,防护林地在3月开始灌水,温度也逐渐回升,良好的温度和水分条件有利于凋落物分解和营养元素循环。9月温度开始下降,11月中下旬防护林地停止灌溉,植物的生长减慢,大量老化枝叶开始枯萎凋落以减少体内蒸腾,以备度过干旱寒冷的冬季^[26]。塔克拉玛干沙漠公路防护林降雨集中在6—7月,这期间风沙活动也较为频繁,再加上植物果和花的大量凋落使得凋落量在7月出现小高峰。沙漠公路不同林龄防护林在地理位置上有着一定的区别,受风沙的影响程度存在差异,对凋落物量有着显著的影响^[27],但缺少具体的数据支持,暂时无法准确判断,可在以后的研究中关注此现象,进一步确定其对凋落量的影响。不同林龄防护林凋落物季节变化模式有所异同,8a和19a防护林凋落物的季节变化为秋季>春季>冬季>夏季,10、13、16a防护林凋落物的季节变化为秋季>春季>夏季>冬季,且8a和19a防护林梭梭和多枝柽柳的冬季凋落量显著高于夏季,这与防护林的林龄以及植物种的生理特性有关。

不同植物种受生理过程的制约,在生长过程中对相同的气候变化或干扰的适应对策有所差别,形成了同一物种在不同时期和年际间各凋落物组成凋落量的差异^[28]。防护林内植物各器官凋落的时间和数量,主要依赖于林地植物种的生物学特性和气候条件^[29—31]。由于塔克拉玛干沙漠公路防护林种植的皆是盐生、高抗逆的木本植物,这类植物为了适应干旱、高温和咸水灌溉的环境,植物的叶片退化,已部分或全部由同化枝进行光合作用。与其他人工林或自然林相比,不论林龄大小,凋落物的组成中以同化枝和枝所占比例最大,占年总凋落量的75.28%~89.05%,其次是果的凋落量,占年总凋落量的3.28%~6.94%,花的凋落量占年总凋落量的2.05%~5.03%,叶凋落量占年总凋落量的1.94%~4.80%,且都表现为中龄林的凋落量大于成熟林。其中同化枝、枝和叶凋落量表现为幼龄林大于中龄林,其余皆为成熟林大于幼龄林。这种差异主要是由植物种的发育阶段制约的,幼龄林光合器官生长大于中龄林和成熟林,繁殖器官在中龄林生长最旺盛。植物的不同器官形成和发育特性间存在差异,导致了凋落物不同组分的凋落量随时间变化的差

异^[32]。不同林龄防护林同化枝、枝凋落量和总凋落量变化趋势相同,均在3—5月、7月和9—11月出现峰值,是植物生物学特性和研究区气候因素综合影响的结果。防护林内花和果的凋落与其发育节律密切相关,4—5月为乔木状沙拐枣的花期,多枝柽柳的花期为5—7月或延续到9月;5—6月为乔木状沙拐枣的果期,9—10月为梭梭的果期。老枝的凋落受气候因素的影响很大,风沙和降雨都可能把一段时间枯死的老枝刮落,这种随机性可以造成老枝凋落的不规则变化。

4 结论

塔克拉玛干沙漠公路防护林内多枝柽柳对凋落总量的贡献最大。随着林龄的增加凋落量先升高后降低,在中龄林达到凋落的高峰期。8、10、13、16、19a防护林凋落物总量月动态变化模式相同,均在3—5月、7月和9—11月出现峰值,凋落量最大值均在11月。不同林龄防护林所占比例最大的是乔木状沙拐枣同化枝、梭梭同化枝和多枝柽柳枝凋落物量,与凋落物总量具有基本一致的月动态变化规律。防护林凋落物的季节变化呈现出秋季和春季的凋落量高于夏季和冬季的凋落量,且在秋季凋落量最高。沙漠公路防护林凋落物量及组分的变化规律主要受到防护林组成物种的遗传和生态学特性,生理过程和气候条件(降水和风沙)的影响。气候条件对凋落物量及组分动态变化的影响需要进一步观测和验证。

参考文献:

- [1] Maguire D A. Branch mortality and potential litter fall from Douglas-fir trees in stands of varying density[J]. *Forest Ecology and Management*, 1994, 70(1): 41—53.
- [2] 林波,刘庆,吴彦,等. 森林凋落物研究进展[J]. *生态学杂志*, 2004, 23(1): 60—64.
- [3] Zhou G Y, Guan L L, Wei X H, et al. Litterfall production along successional and altitudinal gradients of subtropical monsoon evergreen broadleaved forests in Guangdong, China[J]. *Plant Ecology*, 2007, 188(1): 77—89.
- [4] 郭伟,张健,黄玉梅,等. 森林凋落物生态功能研究进展[J]. *安徽农业科学*, 2009, 37(5): 1984—1985, 1987.
- [5] 范春楠,郭忠玲,郑金萍,等. 磨盘山天然次生林凋落物数量及动态[J]. *生态学报*, 2014, 34(3): 633—641.
- [6] Cotrufo M F, Ineson P. Elevated CO₂ reduces field decomposition rates of *Betula pendula* (Roth.) Leaf litter[J]. *Oecologia*, 1996, 106(4): 525—530.

- [7] 毕京东,李玉霖,宁志英,等. 科尔沁沙地优势植物叶凋落物分解及碳矿化-凋落物质量的影响[J]. 中国沙漠, 2016, 36(1): 85-92.
- [8] Janzen H H. Carbon cycling in earth systems; A soil science perspective[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2004, 104(3): 399-417.
- [9] Liski J, Nissinen A, Erhard M, et al. Climate effects on litter decomposition from arctic tundra to tropical rainforest[J]. *Global Change Biology*, 2003, 9(4): 575-584.
- [10] 邓琦,刘世忠,刘菊秀,等. 南亚热带森林凋落物对土壤呼吸的贡献及其影响因素[J]. 地球科学进展, 2007, 22(9): 976-986.
- [11] 吴雅琼,刘国华,傅伯杰,等. 中国森林生态系统土壤 CO₂ 释放分布规律及其影响因子[J]. 生态学报, 2007, 27(5): 2126-2135.
- [12] 郭婧,喻林华,方晰,等. 中亚热带 4 种森林凋落物量、组成、动态及其周周期[J]. 生态学报, 2015, 35(14): 1-14.
- [13] 曲浩,赵学勇,赵哈林,等. 陆地生态系统凋落物分解研究进展[J]. 草业科学, 2010, 27(8): 44-51.
- [14] 李江凤. 塔里木沙漠和周边山区天气气候[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [15] 丁新原,周智彬,徐新文,等. 咸水滴灌下塔克拉玛干沙漠腹地人工绿地土壤水分三维时空动态[J]. 应用生态学报, 2015, 26(9): 2600-2608.
- [16] 官丽莉,周国逸,张德强,等. 鼎湖山南亚热带常绿阔叶林凋落物量 20 年动态研究[J]. 植物生态学报, 2004, 28(4): 449-456.
- [17] 宁晓波,项文化,王光军,等. 湖南会同连作杉木林凋落物量 20 年动态特征[J]. 生态学报, 2009, 29(9): 5122-5129.
- [18] Ma X Q, Liu C J, Ilvesniemi Hannu, et al. Biomass, litterfall and the nutrient fluxes in Chinese fir stands of different age in subtropical China[J]. *Journal of Forestry Research*, 2002, 13(3): 165-170.
- [19] 马祥庆,刘爱琴,何智英,等. 杉木幼林生态系统凋落物及其分解作用研究[J]. 植物生态学报, 1997, 21(6): 564-570.
- [20] 徐国良,黄忠良,欧阳学军,等. 鼎湖山地表无脊椎动物多样性及其与凋落物的关系[J]. 动物学研究, 2002, 23(6): 477-482.
- [21] 罗永清,赵学勇,丁杰萍,等. 科尔沁沙地不同类型沙地植被恢复过程中地上生物量与凋落物量变化[J]. 中国沙漠, 2016, 36(2): 78-84.
- [22] 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.
- [23] 杨智杰,陈光水,谢锦升,等. 杉木、木荷纯林及其混交林凋落物量和碳归还量[J]. 应用生态学报, 2010, 21(9): 2235-2240.
- [24] Chave J, Navarrete D, Almeida S, et al. Regional and seasonal patterns of litterfall in tropical South America[J]. *Biogeosciences*, 2010, 7(1): 43-55.
- [25] 刘颖,韩士杰,林鹿. 长白山四种森林类型凋落物动态特征[J]. 生态学杂志, 2009, 28(1): 7-11.
- [26] 邵士垒,何宗明,黄志群,等. 不同年龄序列杉木人工林凋落物数量、组成及动态变化[J]. 江西农业大学学报, 2015, 37(4): 638-644.
- [27] 王新源,赵学勇,李玉霖,等. 科尔沁沙地沙丘生境单元凋落物运移特征[J]. 中国沙漠, 2016, 36(2): 167-173.
- [28] 侯庸,王伯荪,张宏达,等. 黑石顶自然保护区南亚热带常绿阔叶林的凋落物[J]. 生态科学, 1998, 17(2): 14-18.
- [29] Lawrence D. Regional-scale variation in litter production and seasonality in tropical dry forests of southern Mexico[J]. *Biotropica*, 2005, 37: 561-570.
- [30] Scherer-Lorenzen M, Bonilla J L, Potvin C. Tree species richness affects litter production and decomposition rates in a tropical biodiversity experiment[J]. *Oikos*, 2007, 116: 2108-2124.
- [31] 凌华,陈光水,陈志勤. 中国森林凋落量的影响因素[J]. 亚热带资源与环境学报, 2009, 4(4): 66-71.
- [32] 温远光,韦炳二,黎洁娟. 亚热带森林凋落物产量及动态的研究[J]. 林业科学, 1989, 25(6): 542-548.

Biomass, Composition and Dynamics of Litterfall in Taklimakan Desert Highway Shelterbelt

Zhang Xuemei^{1,2,3}, Wang Yongdong¹, Xu Xinwen¹, Lei Jiaqiang¹

(1.National Engineering Technology Research Center for Desert Oasis Ecological Construction, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China; 2.College of Resources and Environmental Science, Xinjiang University, Urumqi 830046, China; 3.University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Aboveground litter biomass is an important component of the nutrient and carbon cycling in artificial forests. Litters are produced by the plants and return to the soil eventually, provide matter and energy sources for the decomposition. In order to quantify annual litterfall biomass of the extreme arid Taklimakan Desert Highway shelter forests, the litter biomass, composition and dynamics were investigated throughout one year in 2014. The artificial shelterbelt included three species of plants, *Calligonum arborescens*, *Haloxylon ammodendron*, and *Tamarix ramosissima*. The results showed that the annual litterfall biomass was up to 8 301.96, 9 089.71, 10 540.64, 6 184.70, 7 929.95 kg·hm⁻² at the stand ages of 8, 10, 13, 16, and 19 years. With assimilative branches of *C. arborescens* and *H. ammodendron*, and branches of *T. ramosissima* being dominant components of litterfall during the entire year in different age's shelterbelt, which contributed to 89.05%, 79.16%, 75.28%, 78.75%, 81.14% in the total litterfall biomass at the stand ages of 8, 10, 13, 16, and 19 years, respectively. The analysis of variance showed that there was a significant difference in the amounts of the assimilative branches, branches, leaves, seeds, flowers and others among different shelterbelt ages ($P < 0.05$). There was similar seasonal dynamic in different ages, the higher litterfall biomass in spring and autumn, and the lower litterfall biomass in summer and winter. Monthly changes in litterfall pattern showed three peaks in the total biomass and biomass for the assimilative branches of *C. arborescens* and *H. ammodendron*, and the branches of *T. ramosissima*, reaching the peaks in March to May, July, and September to November. While no obvious litterfall pattern was found for leaves, seeds and others, and flowers only present from April to August.

Key words: litterfall biomass; litter component; dynamic; shelterbelt; stand age