

文章编号: 1674-7054(2015)01-0069-09

海南铜鼓岭保护区2个不同演替阶段 森林凋落叶的分解特性

陶 楚^{1,2}, 杨小波^{1,2}, 万春红^{1,2}, 李东海^{1,2},
符有利³, 周文嵩^{1,2}, 冯丹丹^{1,2}, 杨 琦^{1,2}

(1. 海南大学 热带作物种质资源保护与开发利用教育部重点实验室, 海南 海口 570228;
2. 海南大学 园艺园林学院, 海南 海口 570228; 3. 海南省环境科学研究院, 海南 海口, 570206)

摘 要: 以海南铜鼓岭保护区原生热带常绿季雨矮林和遭破坏后天然更新的山麓灌木林的共同凋落物优势种—贡甲(*Maclurodendron oligophlebium*) 凋落叶、群落优势种—海南大风子(*Hydnocarpus hainanensis*) 凋落叶以及2个演替阶段森林各自的混合凋落叶为研究对象, 通过野外分解试验, 探讨凋落叶分解速率与森林演替过程的关系和养分释放规律。经过1年的分解试验, 结果表明: (1) 凋落叶在季雨矮林中的分解速率明显高于灌木林; (2) 凋落叶中N的释放规律为“富集—释放”, 其他元素整体表现为“直接释放”; (3) 在季雨矮林中, 分解系数 k 与初始N质量分数呈显著正相关($P < 0.05$), 与初始C/N值呈极显著负相关($P < 0.01$); 在灌木林中, 分解系数 k 与初始C质量分数及C/N值均呈显著负相关($P < 0.05$)。

关键词: 铜鼓岭; 热带常绿季雨矮林; 山麓灌木林; 凋落叶; 分解速率; 养分释放规律

中图分类号: Q 148

文献标志码: A

凋落物的分解是森林土壤维持肥力最重要的来源, 其中, 分解速率在很大程度上决定了生态系统的生产力及生物量, 进而影响植被的恢复演替进程, 对生态系统的恢复起着支配作用^[1-2]。迄今为止, 国内外学者针对凋落物的分解开展了大量的研究^[3-4], 分解方式包括单一物种凋落叶分解、混合凋落叶分解, 研究对象包括不同气候带、不同植被类型, 涉及到的环境因子包括土壤温湿度、坡度坡向、光照、台风、植被等。而将凋落物分解同群落恢复演替相结合的研究比较少见, 其中, 陈金玲等^[5]和宋新章等^[6]的研究发现, 随着森林进展演替的方向, 凋落叶分解速率逐渐增大。了解同一植被分布区不同演替阶段凋落物分解特性, 对于阐明生态系统结构和功能具有重要的意义。铜鼓岭热带常绿季雨矮林是铜鼓岭保护区已演替成熟的顶极植被, 群落环境复杂, 发展稳定, 生物多样性较高, 土壤肥力较好, 20世纪50—60年大炼钢铁时期, 有一部分原生的常绿季雨林遭到较严重的破坏而生长成次生灌丛, 自1987年建立保护区后, 灌木林得到较好的发育与恢复, 目前, 大部分已经发育成为2 m以上的灌木林, 较好的区域与季雨矮林相似, 植物群落的变化直接影响到凋落物的组成、数量和质量, 从而影响到凋落物的分解过程及分解规律, 目前, 还未见有关铜鼓岭季雨矮林凋落物相关的研究报道。为此, 笔者以铜鼓岭保护区顶极植被热带常绿季雨矮林、遭到人为破坏后而生长起来的山麓灌木林的混合凋落物以及它们的凋落物优势种贡甲(*Maclurodendron oligophlebium*)^[7]、群落优势种海南大风子(*Hydnocarpus hainanensis*)的凋落叶为研究对象, 分

收稿日期: 2014-06-12

基金项目: 国家科技支撑计划(2012BAC18B04-3-1); 中医药行业科研专项“海南省代表性区域中药资源保护利用”(201207002-03); 国家环保部保护区建设专项“铜鼓岭国家级自然保护区样地建设”

作者简介: 陶楚(1988-), 男, 海南大学园艺园林学院2011级硕士研究生. E-mail: 84798146@qq.com

通信作者: 李东海, 副教授, 硕士生导师. 研究方向: 植物资源、森林生态. E-mail: dhlye@163.com

析同种凋落叶和 2 个演替阶段混合凋落叶的分解及养分变化动态,探讨凋落叶分解速率与森林演替过程的关系,以及 2 个演替阶段中养分元素循环规律,以期为热带常绿季雨矮林的恢复提供基础数据,为深入研究森林生态系统的养分循环奠定基础,为森林生态系统整体经营提供参考。

1 研究区概况

铜鼓岭自然保护区地处海南岛东北部文昌县境内的滨海低丘陵基岩海岸地带,地理位置在 $19^{\circ}36'54'' \sim 19^{\circ}41'21''N, 111^{\circ}58'30'' \sim 111^{\circ}03'00''E$ 之间,属于热带海洋性季风气候,雨水充沛,日照充足,年均气温 $23.9^{\circ}C$, 年均降雨量 $1\,721.6\text{ mm}$, 年均蒸发量 $1\,872.7\text{ mm}$, 月平均风速多在 $8 \sim 10\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 之间。铜鼓岭大部分区域坡度较陡,保护区内有 18 座小山峰,主峰海拔 338.12 m , 是海南岛东北部的最高峰。铜鼓岭大部分地区露出的岩石为海西—印支期花岗岩,岩石裸露率 $40\% \sim 60\%$, 土壤以砖红壤为主,土层浅薄、土壤发育程度低。该保护区植被类型有热带常绿季雨矮林和山麓灌木林,灌木林从海拔 15 m 到 338 m (山顶) 均有分布,主要群落优势种有贡甲、海南大风子、橄树 (*Aporosa yunnanensis*)、柄果木 (*Mischocarpus sundaicus*)、伞花冬青 (*Ilex godajam*) 等,而季雨矮林主要分布于山顶,主要群落优势种有贡甲、海南大风子、肖蒲桃 (*Syzygium acuminatissimum*)、滨木患 (*Arytera littoralis*)、赤楠蒲桃 (*Syzygium buxifolium*) 等。2 个植被类型具有明显的气候差异,季雨矮林云雾多,且云量随地势升高而增多,林内湿度大,常超过 90% , 灌木林内相对较干燥。该研究中 2 个不同演替阶段森林群落特征见表 1。

表 1 2 个不同演替阶段森林群落信息

Tab. 1 Community information of two different succession stages of forests

群落类型 Community types	群落面积 / hm^2 Community Area	海拔 / m Elevation	平均坡度 / $^{\circ}$ Average slope	主要优势种 The dominant species
热带常绿季雨矮林 Tropical evergreen monsoon elfin forest	2.5	244 ~ 314	22.19	鸭脚木 (<i>Schefflera minutistellata</i>)、方枝蒲桃 (<i>Syzygium tephrodes</i>)、肖蒲桃 (<i>Syzygium acuminatissimum</i>)、白茶 (<i>Koelodapas hainanense</i>)、海南大风子 (<i>Hydnocarpus hainanensis</i>)、黄果厚壳桂 (<i>Cryptocarya concinna</i>)、滨木患 (<i>Arytera littoralis</i>)、琼刺榄 (<i>Xantolis longispinosa</i>)、橄树 (<i>Aporosa yunnanensis</i>)、赤楠蒲桃 (<i>Syzygium buxifolium</i>) 等
山麓灌木林 Foothill shrubs	2.5	30 ~ 108	23.41	贡甲 (<i>Maclurodendron oligophlebium</i>)、海南大风子 (<i>Hydnocarpus hainanensis</i>)、柄果木 (<i>Mischocarpus sundaicus</i>)、橄树 (<i>Aporosa yunnanensis</i>)、伞花冬青 (<i>Ilex godajam</i>)、猪肚木 (<i>Canthium horridum</i>)、多脉紫金牛 (<i>Ardisia nervosa</i>)、琼刺榄 (<i>Xantolis longispinosa</i>)、膜叶嘉赐树 (<i>Casearia membranacea</i>) 等

2 研究方法

2.1 材料来源与实验设计 于 2012 年 12 月分别在热带常绿季雨矮林和山麓灌木林收集当年新鲜凋落叶,主要采集将要凋落的老叶和刚凋落不久的叶片,带回实验室,置于 $60^{\circ}C$ 烘箱中烘干,然后装入分解袋 (网目为 1 mm 的尼龙网袋,规格为 $15\text{ cm} \times 15\text{ cm}$) 中,每袋 10 g 。

从铜鼓岭热带常绿季雨矮林中收集的凋落叶分为 3 组: (1) GJ-a: 贡甲 (10 g); (2) HD-a: 海南大风子 (10 g); (3) HH-a: 混合凋落叶 (10 g), 其中,贡甲 2 g 、海南大风子 2 g 、赤楠蒲桃 1 g 、九节 (*Psychotria asiatica*) 1 g 、黄椿木姜 (*Litsea variabilis*) 1 g 、滨木患 1 g 、肖蒲桃 1 g 、黄果厚壳桂 (*Cryptocarya concinna*) 1 g 。

从铜鼓岭山麓灌木林中收集的凋落叶分为 3 组: (1) GJ-b: 贡甲 (10 g); (2) HD-b: 海南大风子 (10 g); (3) HH-a: 混合凋落叶 (10 g), 其中,贡甲 2 g 、海南大风子 2 g 、柞木 (*Xylosma congesta*) 1 g 、伞花冬青 1 g 、橄树 1 g 、无患子 (*Sapindus saponaria*) 1 g 、柄果木 1 g 、黄牛木 (*Cratoxylum cochinchinense*) 1 g 。

于2013年1月,将分解袋分别放置于热带常绿季雨矮林和山麓灌木林中,并覆盖一些凋落物,使其尽可能接近自然状态。每隔3个月收取1次分解袋,每类凋落叶每次收取3个重复。带回实验室,仔细去除杂物,烘干至恒重,称重并计算残留率。用封口袋保存好样品进行养分分析。

2.2 养分分析测定方法 参照文献 [9-11] 的方法进行养分测定,具体方法为: (1) C: 硫酸-重铬酸钾-外热法; (2) N: 硫酸-双氧水消煮-连续流动分析法; (3) P: 硫酸-双氧水消煮-连续流动分析法; (4) K: 硫酸-双氧水消煮-火焰光度法; (5) Ca: 干灰化-原子吸收分光光度法; (6) Mg: 干灰化-原子吸收分光光度法。

2.3 数据处理 所有数据用 Excel 和 SPSS 软件进行统计分析,用 sigmaplot12.0 作图。相关项目的计算公式 [7,12] 为:

$$\text{残留率: } y = \frac{x_t}{x_0} \times 100\% \quad (1);$$

$$\text{Olson 指数衰减模型: } y = \frac{x_t}{x_0} = e^{-kt} \quad (2);$$

$$\text{凋落物分解 50\% 与分解 95\% 所需要的时间: } t_{0.5} = \frac{\ln 0.5}{-k}, t_{0.95} = \frac{\ln 0.05}{-k} \quad (3),$$

式中, y 表示凋落叶干质量残留率(%), x_t 表示分解 t 时间后凋落叶的干质量残留量(g), x_0 表示凋落叶的初始干质量(g), k 表示分解系数(g/年), $t_{0.5}$: 为凋落物分解 50% 时所需年限, $t_{0.95}$ 为分解 95% 时所需年限。

3 结果与分析

3.1 不同演替阶段森林凋落叶分解残留率比较 从图 1 可知,6 类凋落叶经过 1 年的分解,干质量残留率均随分解时间的推移而逐渐减小,在季雨矮林中,6 类凋落叶残留率在 3.7% ~ 13.4% 之间,而在灌木林中,6 类凋落叶残留率在 12.4% ~ 21.7% 之间,由此可见,1 年内季雨矮林凋落叶分解速率大于灌木林。

季雨矮林中,干质量残留率大小顺序为: HH-b(13.4%) > HH-a(12.5%) > GJ-b(6.3%) > HD-b(5.2%) > GJ-a(4.6%) > HD-a(3.7%); 山麓灌木林中,干质量残留率大小顺序为: HH-b(21.7%) > HH-a(19.8%) > GJ-a(17.6%) > HH-a(16.1%) > GJ-b(15.4%) > HD-b(12.4%)。由此可见,在整个分解过程中,混合凋落叶的残留率都大于单个优势种残留率。

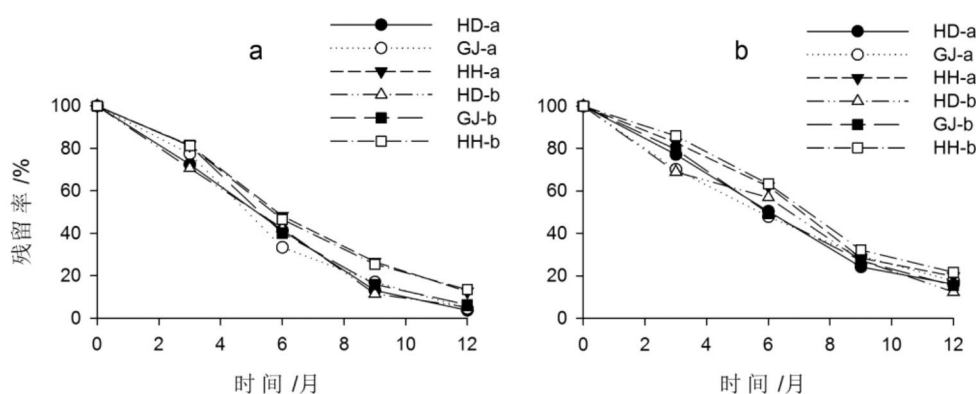


图 1 凋落叶残留率动态

a. 热带常绿季雨矮林; b. 灌木林; HD-a. 海南大风子(季雨矮林); GJ-a. 贡甲(季雨矮林); HH-a. 混合凋落叶(季雨矮林); HD-b. 海南大风子(灌木林); GJ-b. 贡甲(灌木林); HH-b. 混合凋落叶(灌木林),下同

Fig. 1 Dynamics of percent remaining leaf litter

a: tropical evergreen monsoon elfin forest; b: foothill shrubs; HD-a: Hydnocarpus hainanensis (tropical evergreen monsoon elfin forest); GJ-a: Maclurodendron oligophlebium (tropical evergreen monsoon elfin forest); HH-a: mixed leaf litter (Tropical evergreen monsoon elfin forest); HD-b: Hydnocarpus hainanensis (foothill shrubs); GJ-b: Maclurodendron oligophlebium (Foothills shrubs); HH-b: mixed leaf litter(foothill shrubs), similarly hereinafter

3.2 不同演替阶段森林凋落叶分解速率比较 表 2 是根据 Olson 指数衰减模型,拟合出的 6 类凋落叶分别在季雨矮林和灌木林中分解的指数回归方程。从表 2 可知,决定系数($R^2 > 0.9$) 都较高,与实验数据拟合效果良好。经过比较发现,放置于季雨矮林的凋落叶分解速率在 2.073 ~ 3.322 之间,放置于灌木林的凋落叶分解速率在 1.616 ~ 2.042 之间,季雨矮林凋落叶分解速率明显大于灌木林。

比较各凋落叶处理的分解速率后发现,混合凋落叶分解速率明显小于单个优势种凋落叶分解速率:在季雨矮林中,6 类凋落叶分解系数 k 为 HD-a1 > HD-b1 > GJ-a1 > GJ-b1 > HH-a1 > HH-b1; 在灌木林中,6 类凋落叶分解系数 k 为 HD-b2 > GJ-b2 > HD-a2 > GJ-a2 > HH-a2 > HH-b2。

表 2 凋落叶分解残留率随时间的指数回归方程参数
Tab. 2 Parameters of exponential regression equation of percent remaining leaf litter

群落类型 Community types	凋落叶 Leaf litter	回归方程 Regression equation	分解系数(k) Decomposition coefficient	决定系数(R^2) Determination coefficient	50% 分解 所需时间 Time for 50% decomposition	95% 分解 所需时间 Time for 95% decomposition
热带常绿季雨矮林 Tropical evergreen monsoon elfin forest	HD-a	$y = 14.253e^{-3.322t}$	3.322	0.918	0.21	0.90
	GJ-a	$y = 13.432e^{-3.071t}$	3.071	0.935	0.23	0.98
	HH-a	$y = 12.075e^{-2.112t}$	2.112	0.953	0.33	1.42
	HD-b	$y = 13.238e^{-3.012t}$	3.012	0.936	0.22	0.97
	GJ-b	$y = 13.336e^{-2.865t}$	2.865	0.945	0.24	1.05
	HH-b	$y = 11.806e^{-2.073t}$	2.073	0.966	0.33	1.45
山麓灌木林 Foothill shrubs	HD-a	$y = 11.333e^{-1.925t}$	1.925	0.967	0.36	1.56
	GJ-a	$y = 10.611e^{-1.740t}$	1.740	0.991	0.40	1.72
	HH-a	$y = 11.662e^{-1.724t}$	1.724	0.930	0.39	1.74
	HD-b	$y = 11.692e^{-2.042t}$	2.042	0.922	0.34	1.47
	GJ-b	$y = 11.530e^{-1.927t}$	1.927	0.970	0.36	1.55
	HH-b	$y = 11.668e^{-1.616t}$	1.616	0.936	0.43	1.85

注: HD-a. 海南大风子(季雨矮林); GJ-a. 贡甲(季雨矮林); HH-a. 混合凋落叶(季雨矮林); HD-b. 海南大风子(灌木林); GJ-b. 贡甲(灌木林); HH-b. 混合凋落叶(灌木林),下同

Note: HD-a: *Hydnocarpus hainanensis* (tropical evergreen monsoon elfin forest); GJ-a: *Maclurodendron oligophlebium* (tropical evergreen monsoon elfin forest); HH-a: mixed leaf litter (tropical evergreen monsoon elfin forest); HD-b: *Hydnocarpus hainanensis* (foothill shrubs); GJ-b: *Maclurodendron oligophlebium* (foothill shrubs); HH-b: mixed leaf litter (foothill shrubs), similarly hereinafter

3.3 不同演替阶段森林凋落叶分解不同阶段养分元素残留量变化研究 凋落物的养分是森林土壤肥力的重要来源之一,这些养分源源不断地提供给森林植物以满足其生长发育的需要,促进森林生态系统中营养元素的循环,因此,分析凋落物中营养元素动态变化规律具有重要的意义。

3.3.1 C 残留量动态变化 2 个林地凋落叶中 C 残留量变化曲线如图 2 所示。从图 2 可知,C 元素残留量变化曲线与凋落叶干重残留率变化曲线较相似,整个分解过程中,凋落叶 C 元素残留量的变化规律为“直接释放”。

3.3.2 N 残留量动态变化 从图 3 可知,凋落叶 N 元素残留量在分解前期经历了一个明显的上升阶段,分解中后期呈下降趋势,因此,N 元素残留量的变化规律为“富集→释放”。

3.3.3 P 残留量动态变化 2 个林地凋落叶中 P 元素残留量变化曲线见图 4。从图 4 可知,P 元素残留量总体呈“直接释放”的规律。

3.3.4 K 残留量动态变化 从图 5 可知,K 元素在分解初期就发生急剧下降,几乎降到了最低值,随后缓慢下降,说明 K 元素极易被淋溶。因此,K 元素的残留量变化规律为“直接释放”。

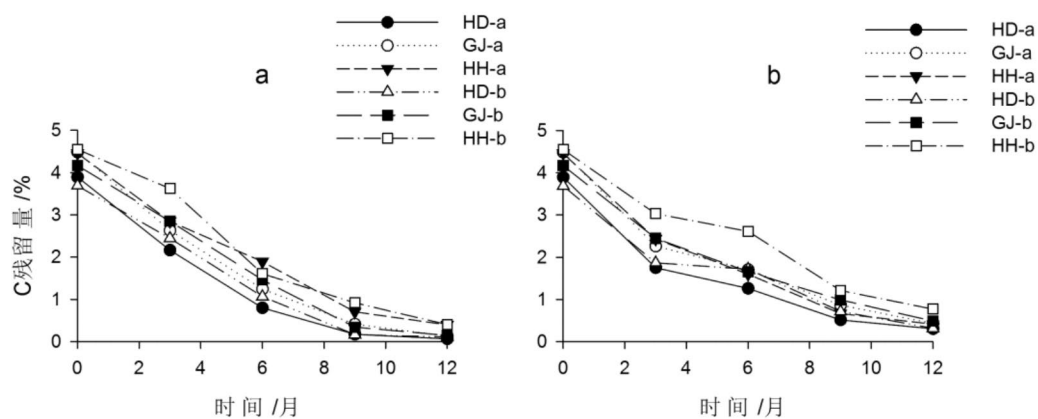


图 2 凋落叶分解不同阶段 C 残留量动态变化

Fig. 2 Dynamic change of percent remaining leaf litter C at different stages of decomposition

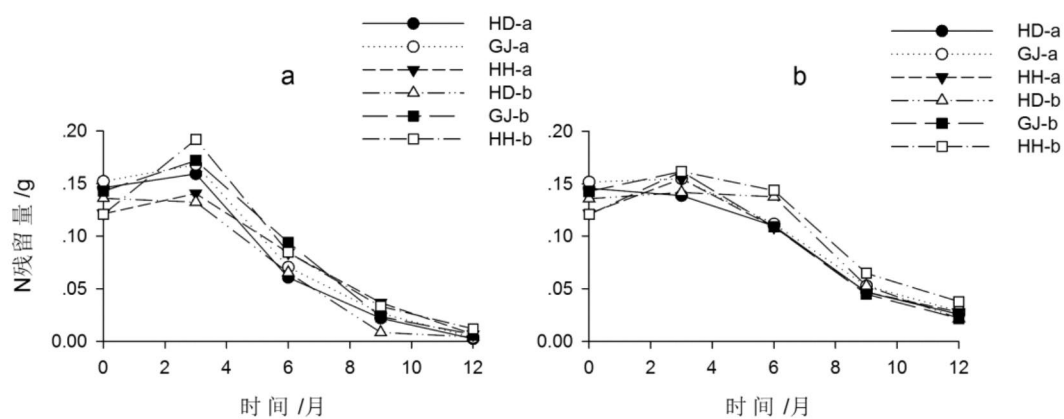


图 3 凋落叶分解不同阶段 N 残留量动态变化

Fig. 3 Dynamic change of percent remaining leaf litter N at different stages of decomposition

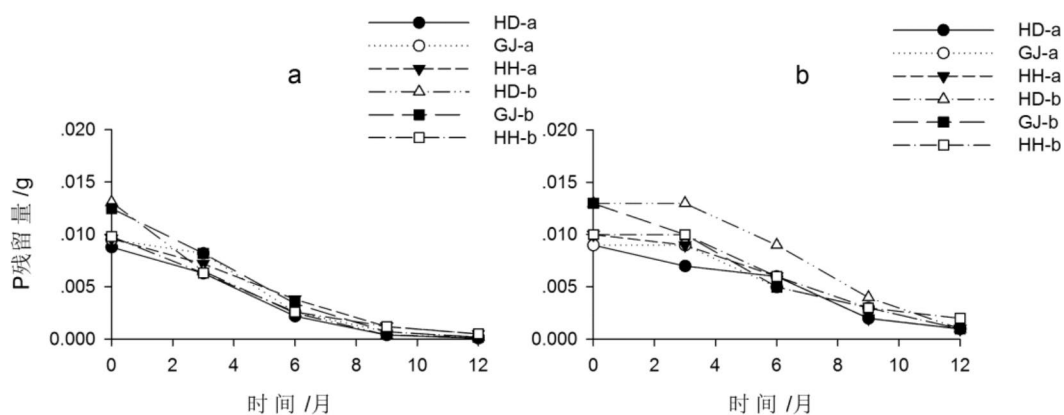


图 4 凋落叶分解不同阶段 P 残留量动态变化

Fig. 4 Dynamic change of percent remaining leaf litter P at different stages of decomposition

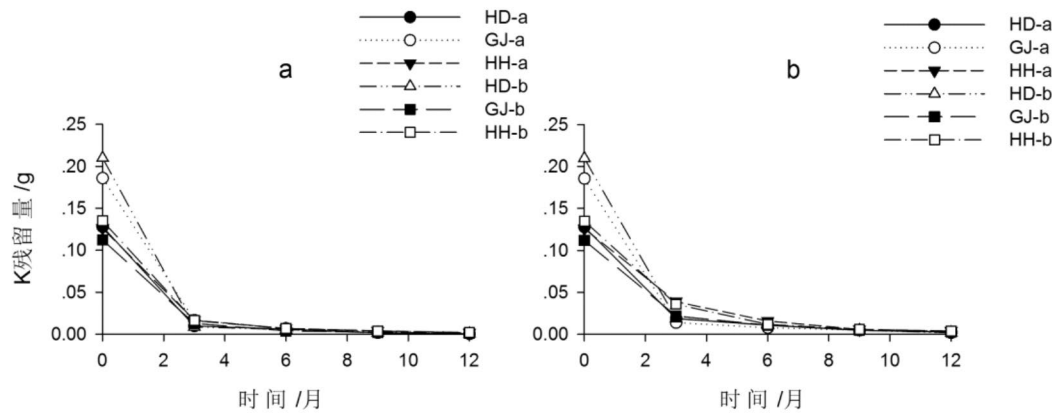


图5 凋落叶分解不同阶段 K 残留量动态变化

Fig. 5 Dynamic change of percent remaining leaf litter K at different stages of decomposition

3.3.5 Ca 残留量动态变化 从图 6 可知, 2 个林地 Ca 元素残留量变化规律有所不同: 季雨矮林凋落叶 Ca 元素残留量呈现“直接释放”的规律, 而灌木林呈现出“富集→释放”的规律。

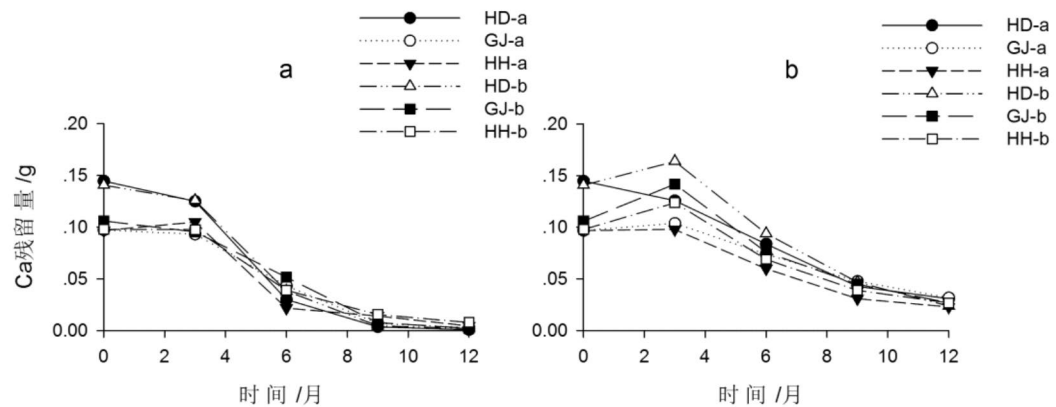


图6 凋落叶分解不同阶段 Ca 残留量动态变化

Fig. 6 Dynamic change of percent remaining leaf litter Ca at different stages of decomposition

3.3.6 Mg 残留量动态变化 从图 7 可知, 由于 Mg 元素很难被微生物利用, 流动性差, 且不易从外界补充, Mg 元素残留量的变化规律为“直接释放”。

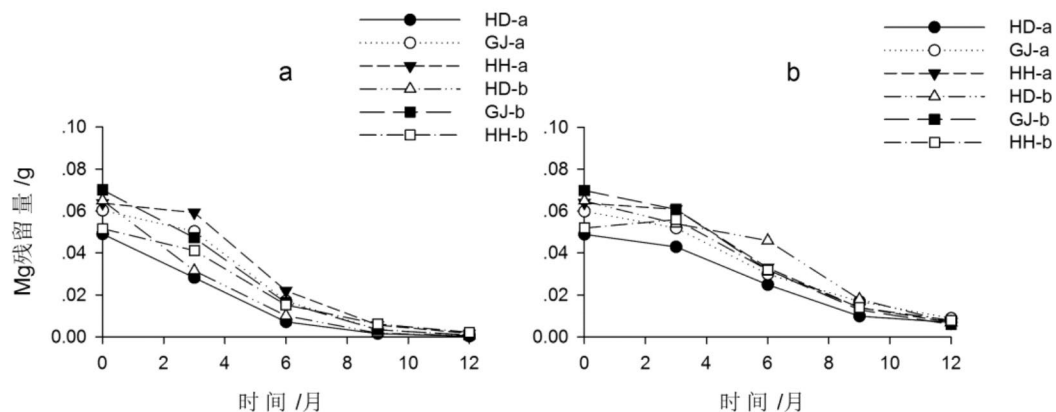


图7 凋落叶分解不同阶段 Mg 残留量动态变化

Fig. 7 Dynamic change of percent remaining leaf litter Mg at different stages of decomposition

3.4 不同演替阶段森林凋落叶养分初始质量分数与分解速率相关性分析 凋落叶的分解速率与凋落叶初始养分元素组成有密切的关系。从表 3、4 可知,在季雨矮林中,分解系数 k 与初始 N 质量分数呈显著正相关 ($P < 0.05$),与初始 C/N 值呈极显著负相关 ($P < 0.01$),与初始 C, P, K, Ca, Mg 初始质量分数相关性不显著。在山麓灌木林中,分解系数 k 与初始 C 质量分数及 C/N 值呈显著负相关 ($P < 0.05$),与其他元素初始质量分数相关性不显著。

结果表明,在季雨矮林中,Olson 指数模型模拟出来的分解系数 k 值越大,初始 N 质量分数应越大,初始 C/N 质量分数应越小;在山麓灌木林中, k 值越大,C 初始质量分数和 C/N 值应越小。

表 3 凋落叶初始质量分数
Tab. 3 The parameters of initial substrate quality of leaf litter mg · g⁻¹

凋落叶 Leaf litter	C	N	P	K	Ca	Mg	C/N
HD-a	390.1 ± 11.5cd	14.63 ± 0.21ab	0.88 ± 0.032b	12.82 ± 0.148d	14.48 ± 0.155a	4.91 ± 0.201c	26.60 ± 0.57b
GJ-a	448.9 ± 8.3b	15.25 ± 0.19a	0.95 ± 0.036b	18.63 ± 0.151b	9.73 ± 0.274c	6.04 ± 0.190b	29.45 ± 0.73b
HH-a	446.1 ± 6.8b	12.16 ± 0.4c	0.96 ± 0.066b	12.62 ± 0.045d	9.68 ± 0.220c	6.39 ± 0.132b	36.77 ± 1.35a
HD-b	369.5 ± 11.9d	13.63 ± 0.29b	1.31 ± 0.114a	21.02 ± 0.136a	14.09 ± 0.121a	6.51 ± 0.101b	27.10 ± 0.78b
GJ-b	417.3 ± 7.1bc	14.3 ± 0.24ab	1.25 ± 0.106a	11.24 ± 0.057e	10.61 ± 0.370b	7.02 ± 0.108a	29.22 ± 1.63b
HH-b	455.3 ± 5.9a	12.11 ± 0.5c	0.98 ± 0.124b	13.50 ± 0.112c	9.79 ± 0.213c	5.16 ± 0.206c	37.69 ± 1.94a

表 4 凋落叶初始质量参数与分解速率的相关性($n=6$)
Tab. 4 Correlation between the parameters of initial litter quality and the decomposition rate

群落类型 Community types	C	N	P	K	Ca	Mg	C/N
热带常绿季雨矮林 Tropical evergreen monsoon elfin forest	-0.771	0.886*	-0.486	0.257	0.543	-0.257	-0.943**
sig	0.329	0.019	0.329	0.623	0.266	0.623	0.005
山麓灌木林 Foothill shrubs	-0.886*	0.2	-0.486	-0.029	0.6	0.6	-0.829*
sig	0.019	0.704	0.329	0.957	0.208	0.208	0.042

注: * 表示显著相关, ** 表示极显著相关
Note: * indicates significant correlation, ** means highly significant correlation

4 讨 论

本研究结果表明,铜鼓岭保护区森林凋落叶分解速率为 1.616 ~ 3.322,相比其他研究区^[7,13-17],该保护区凋落叶分解速率较高(鼎湖山 0.288 ~ 1.398; 鹤山 0.422 ~ 1.108; 尖峰岭 0.422 ~ 1.578; 福建 1.16 ~ 3.54; 长白山 0.25 ~ 0.47; 小兴安岭 0.139 ~ 0.283),这主要是由铜鼓岭地区的地理位置和气候条件决定的,该保护区位于沿海基岩海岸上,常年湿度大,又处于热带地区,高温持续时间长,这些因素适合微生物和土壤小动物生存和生长,使凋落物分解速率异常快。另外,本研究中,凋落叶分解中期失重率几乎与分解前期持平,而后期分解缓慢,这与张东来等^[18]的研究结果一致,主要原因是: 1) 凋落物自身化学成分影响 在分解初期失重率很大是由于凋落叶中大量可溶性有机物的淋溶以及易分解化合物(碳水化合物)的分解,导致凋落叶重量出现一个直线下降的过程,而后期失重率变小变慢则是因为凋落物体内不易分解的单宁和纤维素等物质的大量积累造成的。2) 环境因素 铜鼓岭保护区从 5 ~ 10 月开始进入雨季和台风季,而且气温高,高温多雨导致微生物大量繁殖和分解活动旺盛,极大程度地促进了凋落叶的分解,所以导致凋落叶分解中期的失重率不如分解初期,而分解后期正好处于 10 月下旬至翌年 1 月,这段时间是该保护区的旱季,且气温开始下降,不利于微生物的生长与活动,所以失重率变小。

4.1 铜鼓岭两个演替阶段森林凋落叶分解速率差异及影响因子 笔者发现,凋落叶在热带常绿季雨矮林中的分解速率明显大于山麓灌木林,很大一部分原因是由于季雨矮林林内湿度明显大于山麓灌木林造成的,季雨矮林高湿度导致微生物及其他分解者活动旺盛而促进分解。有研究表明,土壤动物通过对土壤结构、凋落物的破碎和微生物群落组成的影响而强烈作用于凋落物的分解,土壤微生物通过分泌各类降解酶对凋落物的分解也具有很大的影响^[9],土壤动物群落随植物群落的演替而发生明显的变化,演替初期的土壤动物群落类群数和个体数都是最低的,随着植物群落演替的进行,土壤动物类群数和个体数逐渐增加,在演替顶级阶段达到最高^[20]。由于演替初期群落的结构简单,生物多样性低,土壤肥力较差,土壤动物和微生物的种类单一,数量贫乏,活性也较低,不利于凋落物的分解;演替后期群落的结构趋于复杂,生物多样性增加,土壤养分状况得到改善,尤其是 N、P 含量大大增加,提高了土壤生物的种类、数量和活性,因而促进了凋落物的分解^[8]。因此,本研究中山麓灌木林属于演替初期群落,结构简单,生物多样性低^[21],不利于凋落物的分解,而热带常绿季雨矮林属于演替成熟群落,多样性高,土壤肥力较好^[22],因而促进凋落物分解。这种促进作用能加快森林生态系统的养分循环,改善土壤状况,为后期种的侵入和生长提供条件,进而对植物群落的演替产生一定的促进作用,加快了植被的恢复演替进程^[8]。

4.2 铜鼓岭 2 个演替阶段森林凋落叶分解过程中养分动态 在该研究区的 2 个林地中,C、P、K、Mg 的残留量都是随着分解的进行而逐渐降低,与干物质消失曲线具有相似性,与赵谷风等^[23]的研究结果类似。但是,也有研究显示,P 在分解初期会呈现出净富集^[24],但在本研究中,P 在整个过程中都呈现净释放,这可能由于该研究区分解速率较快,凋落叶干重残留量下降很快造成的。N 残留量在分解初期经历了 1 个上升阶段,众多学者的研究表明,N 含量的增加是十分普遍的,与微生物固 N、降水及菌根的吸收等作用有密切关系^[25-26]。2 个林地凋落叶中 Ca 残留量变化规律有所不同,季雨矮林中为“直接释放”,而在灌木林中为“富集→释放”,目前,关于 Ca 的释放规律,学者们的研究结果各不相同,还有待于今后进一步研究。

4.3 凋落叶养分初始质量分数与分解速率相关性分析 凋落物的各初始养分质量分数是影响凋落物分解的重要因素^[8],研究表明,凋落物的 N、P、C/N 值是常见的反映凋落物分解速率的指标^[27-28]。本研究中,将凋落物中各养分初始质量分数与分解速率 k 进行相关性分析后发现,无论是季雨矮林还是灌木林,凋落叶中初始 C/N 值都与分解速率呈显著负相关,即凋落叶初始 C/N 值越大,分解速率越慢,这与文献^[7,29]的研究结果一致,说明 C/N 值是影响铜鼓岭保护区森林凋落叶分解的关键内在因素。

参考文献:

- [1] 李正才,徐德应,杨校生,等. 北亚热带 6 种森林类型凋落物分解过程中有机碳动态变化 [J]. 林业科学研究,2008,21(5): 675-680.
- [2] 胡灵芝,陈德良,朱慧玲,等. 百山祖常绿阔叶林凋落物凋落节律及组成 [J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版),2011,37(5): 533-539.
- [3] BARRETT K. Carbon Accumulation and Storage in Amazonian Ecosystems [D]. Massachusetts: Clark University, 2008.
- [4] PARTON W, SILVER W L, BURKE I C, et al. Global-scale similarities in nitrogen release patterns during long-term decomposition [J]. Science, 2007, 315(5810): 361-364.
- [5] BAPTIST F, YOCCOZ N G, CHOLER P. Direct and indirect control by snow cover over decomposition in alpine tundra along a snowmelt gradient [J]. Plant and Soil, 2010, 328: 397-410.
- [6] 郭剑芬,杨玉盛,陈光水,等. 森林凋落物分解研究进展 [J]. 林业科学, 2006, 42(4): 93-100.
- [7] 陈金玲,金光泽,赵凤霞. 小兴安岭典型阔叶红松林不同演替阶段凋落物分解及养分变化 [J]. 应用生态学报,2010,21(9): 2209-2216.
- [8] 宋新章,江洪,余树全. 中亚热带森林群落不同演替阶段优势种凋落物分解试验 [J]. 应用生态学报,2009,20(3): 537-542.
- [9] 贝美容,罗雪华,杨红竹. AA3 型连续流动分析仪(CFA)同时测定橡胶叶全氮、全磷、全钾的方法研究 [J]. 热带作物学报,2011(7): 1258-1264.
- [10] 中国土壤学会. 土壤农业化学分析方法 [M]. 北京: 中国农业科技出版社,1999: 317-320.
- [11] 周庆惠,林雄梅. 茶叶有机碳测定方法的探讨 [J]. 茶叶科学简报,1988,(3): 18-21,27.
- [12] 沈龙海,丁宝永,沈国妨,等. 樟子松人工林下针阔叶凋落物分解动态 [J]. 林业科学,1996(5): 393-401.
- [13] 张德强,叶万辉,余清发,等. 鼎湖山演替系列中代表性森林凋落物研究 [J]. 生态学报,2000,20(6): 938-9441.

- [4] 周存宇, 蚁伟民, 傅声雷. 不同树种的叶凋落物分解和养分释放研究 [J]. 生态学报, 1995, 15(增刊A辑): 132-140.
- [5] 刘强, 彭少麟, 毕华, 等. 热带亚热带森林凋落物交互分解的养分动态 [J]. 北京林业大学学报, 2005, 27(1): 24-32.
- [6] 林开敏, 洪伟, 俞新妥, 等. 杉木与伴生植物凋落物混合分解的相互作用研究 [J]. 应用生态学报, 2001, 12(3): 321-325.
- [7] 刘颖, 韩士杰, 林鹿, 等. 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.
- [8] 张东来, 毛子军, 朱胜英, 等. 黑龙江省帽儿山林区6种主要林分类型凋落物研究 [J]. 植物研究, 2008, 28(1): 104-108.
- [9] 彭少麟, 刘强等. 森林凋落物动态对全球变暖的响应 [J]. 生态学报, 2002, 22(9): 1534-1544.
- [10] 易兰, 由文辉, 宋永昌, 等. 天童常绿阔叶林五个演替阶段凋落物中的土壤动物群落 [J]. 生态学报, 2005, 25(3): 466-473.
- [11] 车秀芬, 杨小波, 岳平, 等. 铜鼓岭国家级自然保护区植物多样性 [J]. 生物多样性, 2006, 14(4): 292-299.
- [12] 吴彦, 刘庆, 乔永康, 等. 亚高山针叶林不同恢复阶段群落物种多样性变化及其对土壤理化性质的影响. 植物生态学报, 2001, 25(6): 648-655.
- [13] 赵谷风, 蔡延奔, 罗媛媛, 等. 青冈常绿阔叶林凋落物分解过程中营养元素动态 [J]. 生态学报, 2006, 26(10): 3286-3295.
- [14] 王希华, 黄建军, 闫思荣. 天童国家森林公园常见植物凋落叶分解的研究 [J]. 植物生态学报, 2004, 28(4): 457-467.
- [15] RUSTAD L E. Element dynamics along a decay continuum in a red spruce ecosystem in Maine. Ecological Society of America, 1994, 75(4): 867-879.
- [16] RIBEIRO C, MADEIRA M, ARAJO M C. Decomposition and nutrient release from leaf litter of Eucalyptus globulus grown under different water and nutrient regimes [J]. Forest Ecology and Management, 2002, 171(1-2): 31-41.
- [17] MOORE T R, TROFYMOW J A, TAYLOR B, et al. Litter decomposition rates in Canadian forests [J]. Global Change Biology, 1999(5): 75-82.
- [18] 李志安, 皱碧. 森林凋落物分解重要影响因子及其研究进展 [J]. 生态学杂志, 2004, 23(6): 77-83.
- [19] ATIQR R B, AYYANADAR A, PRABHAT C N, et al. Leaf litter decomposition of dominant tree species of Namdapha National Park, Arunachal Pradesh, northeast India [J]. Journal of Forest Research, 2008, 13: 25-34.

Decomposition Characteristics of Leaf Litter of Forests at Two Different Succession Stages in Tongguling Nature Reserve, Hainan

TAO Chu^{1,2}, YANG Xiaobo^{1,2}, WAN Chunhong^{1,2}, LI Donghai^{1,2}, FU Youli³,
ZHOU Wensong^{1,2}, FENG Dandan^{1,2}, YANG Qi^{1,2}

(1. Key Laboratory of Protection, Development and Utilization of Tropical Crop Germplasm Resources, Hainan University, Ministry of Education, Haikou 570228, China; 2. College of Horticulture and Landscape Architecture, Hainan University, Haikou 570228, China; 3. Hainan Academy of Environmental Science, Haikou 570206, China)

Abstract: A field experiment was conducted to decompose the leaf litters of *Macclurodendron oligophlebium*, a common leaf litter dominant species, and *Hydnocarpus hainanensis*, a community dominant species, and the mixed leaf litters of the aforesaid species and other tree species at 2 succession stages in the primary tropical evergreen monsoon rains elfin forest and the foothill shrubs regenerated naturally due to human disturbance in Hainan Tongguling National Natural Reserve to observe the relationship between the leaf litter decomposition and the forest succession, and the nutrient release patterns. One year decomposition of the leaf litters showed the leaf litter decomposition rate was significantly higher in the monsoon elfin forest than in the foothill shrubs. The N release in the leaf litters followed the pattern of “enrichment-release”, and the other elements such as C, K, Ca, P and Mg in the leaf litters were all directly released. In the monsoon elfin forest, the decomposition coefficient k had significantly positive correlation with the initial N mass fraction ($P < 0.05$), and highly significantly negative correlation with the initial C/N ratio ($P < 0.01$). In the foothill shrubs, the decomposition coefficient k was significantly negatively correlated with the initial C mass fraction and C/N value ($P < 0.05$).

Key words: Tongguling; tropical evergreen monsoon elfin forest; foothill shrubs; leaf litter; decomposition rate; nutrient releasing