

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3142.2013.03.010

王静,徐广平,曾丹娟,等. 岩溶区和非岩溶区两种优势植物凋落叶分解的比较研究[J]. 广西植物,2013,33(3):338—345

Wang J,Xu GP,Zeng DJ,et al. Comparative study on decomposition of leaf litters from two dominant species under karst and non-karst terrains[J].

Guihaia,2013,33(3):338—345

岩溶区和非岩溶区两种优势植物 凋落叶分解的比较研究

王 静^{1,2}, 徐广平¹, 曾丹娟¹, 张德楠^{1,2}, 莫 凌¹, 黄玉清^{1*}

(1. 广西壮族自治区 广西植物研究所, 广西 桂林 541006; 2. 广西师范大学 生命科学学院, 广西 桂林 541004)

摘 要:应用野外分解网袋法对岩溶地区和非岩溶地区两种优势树种桂花和青冈栎凋落叶的分解速率和养分释放规律进行研究。结果表明:分解1年后,凋落叶失重率桂花大于青冈栎,同一物种岩溶区大于非岩溶区。凋落叶各元素浓度随分解时间变化也有一定差异,C含量均表现为初期上升,后下降,最后上升的趋势;N含量前半年呈波动状态,后半年逐渐上升;P含量处波动状态,总体呈上升趋势。N、P含量和凋落叶失重率均表现为极显著正相关,而C:N、C:P、N:P与凋落叶失重率呈极显著负相关($P<0.01$),说明凋落叶分解过程中失重率与N、P含量及C:N、C:P、N:P关系密切。凋落叶桂花N、P含量比青冈栎高,分解速率也比较快。

关键词:凋落叶分解;岩溶;非岩溶;速率;差异

中图分类号:S718.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-3142(2013)03-0338-08

Comparative study on decomposition of leaf litters from two dominant species under karst and non-karst terrains

WANG Jing^{1,2}, XU Guang-Ping¹, ZENG Dan-Juan¹,ZHANG De-Nan^{1,2}, MO Ling¹, HUANG Yu-Qing^{1*}

(1. Guangxi Institute of Botany, Guangxi Zhuang Autonomous Region and the Chinese Academy of Sciences, Guilin 541006, China; 2. College of Life Sciences, Guangxi Normal University, Guilin 541004, China)

Abstract: The decomposition rate and nutrient decomposing variation of litters of two dominant species *Osmanthus fragrans* and *Cyclobalanopsis glauca* under karst and non-karst terrains were studied by using field litter bag technique. The results showed that after one year, the litter weight loss rates of *O. fragrans* were higher than that of *C. glauca*, and the litter weight loss rates of samples from karst were higher than non-karst. Elements concentration in litter remainder varied in the course of decomposition, which C content tended to be increased initially, then decreased and finally increased, while N content fluctuated in the first half year but increased thereafter, and P content showed fluctuating increased. Litter loss rate (weight) was significantly positive correlated with N and P contents, and were significantly negative correlated with C:N, C:P and N:P ratio, indicating litter decomposition rates relied on litter N, P composition and C:N, C:P and N:P ratio. Sample from *O. fragrans* litter contained higher N, P than that from *C. glauca* and presented a higher decomposition rate.

Key words: leaf litter decomposition; karst; non-karst; rate; variation

收稿日期: 2012-11-04 修回日期: 2013-03-27

基金项目: 国家自然科学基金(41172313); 岩溶动力学重点实验室基金(KDL2011-09); 广西植物研究所基本业务费(桂植业11004); 广西自然科学基金(2012GXNSFB053074)

作者简介: 王静(1986-), 女, 河北邯郸人, 在读硕士生, 主要从事植物生态学研究, (E-mail)18277390807@163.com。

*通讯作者: 黄玉清, 博士, 研究员, 主要从事植物生理生态学研究, (E-mail)hyqcoco@gxib.cn。

凋落物是植物在整个生长发育过程中新陈代谢的产物,是森林生态系统重要的组成成分;是陆地生态系统碳(C)库的重要组成部分,也是维系植物体地上碳(C)库与土壤碳(C)库形成循环的主要生态过程(赵其国等,1991;Tufekcioglu *et al.*,1999)。凋落物分解后逐步把养分归还给土壤,成为森林土壤养分的重要来源,显著影响土壤有机物的组成和理化性质。凋落物分解不仅是森林生态系统内养分循环的关键过程之一,也是森林生态系统生物地球化学循环的重要环节(郭忠玲等,2006)。对凋落物分解过程的研究有助于深入了解森林生态系统过程和生物地球化学循环。

国内外已有关于森林凋落叶降解及其影响因素的研究(赵其国等,1991;Aert *et al.*,1997;Liao *et al.*,2006;Barlow *et al.*,2007),在长白山对白桦纯林和白桦山杨混交林凋落物的分解研究发现,混交林内的环境对凋落物分解和养分释放有促进作用,而凋落物的底物质量一定程度上可抵消森林类型对凋落物分解的影响(李雪峰等,2007)。在吊罗山热带4种主要林木凋落叶分解得出凋落叶分解变化趋势和气温,相对湿度及雨量等主要环境因子变化趋势基本一致(王志香等,2007)。在秦岭火地塘林区对4种主要树种凋落叶进行2年的分解试验研究中发现4~9月凋落叶分解最快,而在其他月份保持较平稳的分解速度,分解前12个月凋落叶失重速度明显大于后12个月,呈明显的季节和阶段性差异(何帆等,2011)。在我国喀斯特地区,有关凋落物现存量 and 组分、凋落动态变化、持水特性等方面已有报道(魏鲁明等,2009),而在桂北喀斯特地区,在不同地质背景作用下,有关凋落物分解的研究却不多见,相对于非岩溶地区,岩溶地区的环境条件是否有利于凋落物叶的分解?基于此,本文选择在桂北两种不同地质背景(岩溶区和非岩溶区)下,对两种优势物种的凋落叶分解进行比较研究,旨在阐明岩溶区与非岩溶区凋落叶分解规律的差异,并解释其可能的原因,对喀斯特地区养分循环规律提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究地区概况

本研究样地分为岩溶区和非岩溶区,分别在广西壮族自治区东北部的桂林市南郊24 km雁山镇桂林植物园内和大埠乡甘棠村后山,两者相距约6 km,25°01'

N,110°18' E。甘棠村后山为当地的风水山,海拔150~210 m(高差约60 m),属于典型的石灰岩岩溶峰林地貌,以青冈栎为优势种的岩溶次生常绿阔叶林,

样地外围有桂花树,土层浅薄且土被分布不连续,样地内岩石裸露度约为70%;桂林植物园为砂页岩的丘陵地貌,样地设在杜英、桂花、青冈栎为主要优势种的人工常绿阔叶林(林龄>40 a)内。土壤为红壤,土层较深厚,但砾石含量较高,林下枯枝落叶比较丰富。研究区属于中亚热带季风气候,50年平均气温为19℃,冬季比较寒冷,1月份气温常常降至0℃以下,而7、8月最高气温37℃以上。50 a平均降水量1900 mm;雨季和旱季分明,降雨主要集中在3~8月,占全年雨量的70%以上。但近五年来的平均降水量只有1713 mm,而年均气温升高了0.6℃,达19.6℃,从气候图谱(图1)看出,10月为明显的干季。

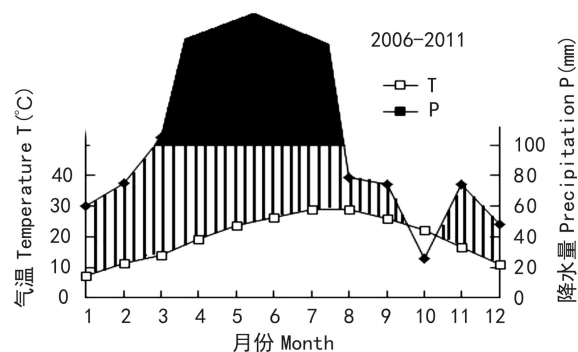


图1 桂林近6年气候图(2006~2011)

Fig. 1 Climatic diagram of Guilin in the recent six years

如果温度线在降雨线下面代表湿润的环境(条状区),如果降雨量大于100 mm代表非常潮湿的环境(黑色区)。

Moist conditions are indicated if the temperature line is below the precipitation line (bar area) and very wet conditions are indicated if the precipitation >100 mm (black area).

1.2 研究方法

1.2.1 试验材料与方法 本研究选择桂花(*Osmanthus fragrans*)和青冈栎(*Cyclobalanopsis glauca*)为试验材料。桂花为木犀科(Oleaceae)木犀属(*Osmanthus*)常绿乔木,主要分布在亚热带地区,为名贵观赏花木树种,具有悠久的栽培历史,在园林绿化中广泛采用,桂花野生种群主要分布在岩溶区(石山)(易继君,2006;林勇明等,2007),而人工栽植主要分布在非岩溶区。桂花是桂林市的市树和市花,种植面积很大,而在岩溶区桂花树亦常见于石灰岩山体的各坡位,特别是在中、下坡位。

植物落叶的收集时间为 2011 年 3 月,正值两种树种的大量换叶时间;分解试验时间为 2011 年 4 月至 2012 年 4 月。初始分解样品选择新落下的叶片;试验采用分解袋法(何帆,2008),选用孔径 1 mm 的尼龙丝网缝制成 30 cm×20 cm 的分解袋。每袋烘干叶片 15 g,于 2011 年 4 月放置于实验样地地表,并与土壤充分接触。每个样地内青冈栎,桂花各 60 袋,共 240 袋,于 2011 年 5 月开始,每月定期取回分解网袋,每次 5 个重复,仔细将杂物去除,烘干至恒重后称重,计算失重率,之后进行粉碎保存好样品留作养分分析。其中岩溶区样地内放置采自岩溶区的桂花和青冈栎凋落叶(简称 K1,K2),非岩溶区样地内放置采自非岩溶区的桂花和青冈栎凋落叶(简称 N1,N2)。

1.2.2 数据处理方法 (1)凋落叶失重率计算(许晓静,2007):

$$A = \frac{X_0 - X_t}{X_0} \times 100\%$$

其中, A 为失重率, X_0 为凋落叶初始质量, X_t 为分解 t 时间的凋落叶残留量。

(2)凋落叶分解 Olson 指数衰减模型(何帆等,2011): $X_t = X_0 e^{-kt}$

其中 X_0 为凋落叶初始质量, X_t 为分解 t 时间的凋落叶残留量, t 为时间, k 为凋落叶分解速率。

(3)凋落叶养分释放率计算(许晓静,2007):

$$E = \frac{W_0 C_0 - W_t C_t}{W_0 C_0} \times 100\%$$

其中 E 为养分释放率, W_0 为凋落叶初始质量, C_0 为初始养分浓度, W_t 为分解 t 时刻凋落叶残留量, C_t 为分解 t 时间的凋落叶养分浓度。

1.2.3 主要元素分析方法 全碳(TC)用浓硫酸-重铬酸钾法测定(王瑾等,2001)。凋落叶经浓硫酸消煮后,分别用凯氏定氮法,钼锑抗比色法测全氮(TN)和全磷(TP)(许晓静,2007)。

使用 EXCEL2003 软件进行数据的初步整理与作图。用 SPSS13.0 软件进行统计分析如 One-Way ANOVA(单因素方差),回归分析和相关分析等。

2 结果与分析

2.1 凋落叶失重率

凋落叶分解失重率反映其分解效率。图 2 显示,在一年的分解试验中,4 个试验样品的失重率在最初的 3 个月(即 5~7 月)比较接近且上升最快,之后趋于平缓;第 4 至第 6 个月(即 8~10 月),非岩溶

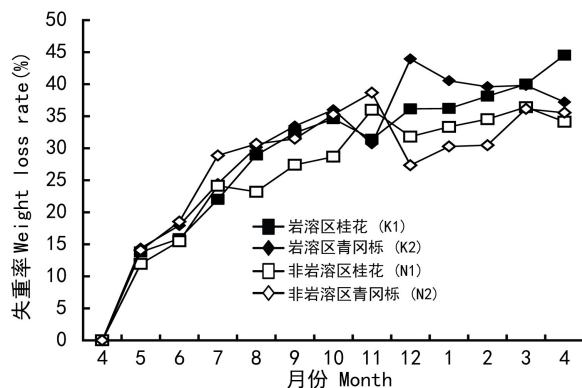


图 2 不同地质背景下两种植物凋落叶失重率变化
Fig. 2 Variation of weight loss rates of two species leaf litters under different geological conditions

区桂花(N1)的分解速率比其他组稍小;第 8~10 月(即 12 到次年 1、2 月)各试验样品分解速率差异较大岩溶区凋落叶的分解速率比非岩溶区的大;1 年后,除了岩溶区桂花(K1)和其他 3 组失重率差异极显著外($P < 0.01$),其他 3 个凋落叶失重率差异均不显著。其中,岩溶区桂花(K1)失重率最高,为 44.53%;其次为岩溶区青冈栎(K2),为 37.20%;非岩溶区青冈栎(N2)为 35.53%,非岩溶区桂花(N1)最低,为 34.13%。凋落叶失重率高,表明了较快的分解速度,可见岩溶区 K1,K2 分解速度较非岩溶区 N1,N2 要快。岩溶区 K1 分解半年后,失重率为 34.60%,而后半年的失重率只有 9.93%,其他 3 个凋落叶在前半年失重速度也明显大于后半年,说明凋落叶分解有着明显的阶段性。

2.2 凋落叶分解速率模型

利用 Olson 模型对 4 个试验的凋落叶分解 50%和分解 95%所需时间进行估测。从表 1 看出,不同地质背景下,岩溶区 K1,K2 分解速率比非岩溶区高,桂花和青冈栎岩溶区分别比非岩溶区高 23.5%和 37.0%;不同树种间,桂花的分解速率比青冈栎的分解速率快,岩溶区桂花比青冈栎高 8.7%,而非岩溶区桂花比青冈栎高 20.1%。分解速率大小顺序为岩溶区 K1>岩溶区 K2>非岩溶区 N1>非岩溶区 N2。相应地,半分解期大小顺序为岩溶区 K1<岩溶区 K2<非岩溶区 N1<非岩溶区 N2;分解 95%需时间大小顺序为岩溶区 K1<岩溶区 K2<非岩溶区 N1<非岩溶区 N2。非岩溶区半分解期最大 1 年半,岩溶区最小超过 14 个月,而 95%分解期非岩溶区最大达 8 年半,岩溶区最小 5 年半以上,

两者相差 2 年 8 个月。这一结果和图 1 实验结果基本一致,说明 Olson 模型估算基本符合试验实际情况。模型估算得出的凋落叶分解 95%所需时间是否与最终试验结果相符,由于本试验仅 1 年,尚无法

判断,还有待于进一步试验的验证。由此推断,对同种植物而言,在岩溶地质背景下生活的植物凋落叶分解速率可能普遍大于在非岩溶区内,岩溶环境更有利于植物凋落叶分解和养分的周转。

表 1 凋落叶分解残留率变化的指数方程
Table 1 Exponential equations of leaf litter decomposition residual rates change

样地 Plot	树种 Species	模拟方程 Simulated equation	决定系数 R ²	分解速率 Decomposition Rate (a ⁻¹)	半分解期 Time for half decomposition (a)	分解 95%需时间 Time for 95% decomposition (a)
岩溶区 Karst area	桂花 K1	$y=0.897\ 9e^{-0.494\ 6x}$ $P<0.01$	0.8352	0.4946	1.184	5.839
	青冈栎 K2	$y=0.872\ 6e^{-0.454\ 3x}$ $P<0.01$				
非岩溶区 Non-karst area	桂花 N1	$y=0.894\ 3e^{-0.400\ 5x}$ $P<0.01$	0.7847	0.4005	1.452	7.201
	青冈栎 N2	$y=0.843\ 8e^{-0.331\ 7x}$ $P<0.01$				

2.3 凋落叶养分动态变化

2.3.1 C 元素含量变化 不同地质背景下两种凋落叶 C 含量呈起伏性变化(图 3:a)。无论是岩溶区还是非岩溶区,桂花凋落叶 C 含量均高于同一地区青冈栎凋落叶 C 含量,说明青冈栎 C 流失速率高于桂花。4 个试验中凋落叶 C 元素变化趋势相似,共同点是前半年(即 5~10 月)平缓上升,第 7 个月(即 11 月)急速下降,第 8、9 个月(即 12 月至次年 1 月)平缓或震荡,最后 3 个月缓慢震荡上升,但总含量呈小幅度下降。岩溶区 K1 的 C 含量由原来的 46.302%上升到 50.514%,K2 的 C 含量由 45.152%下降到 36.448%。非岩溶区 N1 的 C 含量由原来的 47.428%上升到 48.366%,N2 的 C 含量由 44.274%下降到 40.377%。两种地质背景下的桂花凋落叶样品 C 含量略有上升,而青冈栎则略有下降。

2.3.2 N 元素含量变化 两种植物凋落叶 N 含量变化趋势与 C 含量不同(图 3:b),受地质背景影响明显。在分解前半年,岩溶区的桂花样品 N 含量岩溶区比非岩溶区高,而青冈栎只是在前 2 个月岩溶区明显比非岩溶区的高;之后两种植物凋落叶 N 含量在不同的地质背景下没有明显差异。两种植物凋落叶 N 含量一年的变化中,前半年处平缓波动变化,然后持续上升至第 10 个月(N2)或者 11 个月(即次年 2 月或者 3 月份)达到最高,第 11 个月或者第 12 个月下降。1 年中,岩溶区桂花的 N 含量由原来的 1.961%下降到 1.873%,青冈栎的 N 含量由 1.443%上升到 1.530%。非岩溶区桂花的 N 含量由原来的 4 个凋落叶不同养分元素含量变化存在较大差异。

1.843%下降到 1.545%,青冈栎的 N 含量由 1.511%上升到 1.889%。分解一年后桂花样品的 N 含量有所下降,而青冈栎的 N 含量有所上升。

2.3.3 P 元素含量变化 两种植物凋落叶 P 元素含量变化如图 3:c。初始时凋落叶 P 元素含量桂花大于青冈栎,地质因子的差异无规律性。一年分解过程中共同特点为分解第 1 个月(即 5 月)P 含量下降,第 2 个月上升,随后的 8 个月(7 月至次年 2 月)处于平缓波动状态。但第 11 个月(3 月)桂花凋落叶 P 含量在岩溶区和非岩溶区均大幅度上升,达到最大值,最后一个月(4 月)岩溶区的略微下降,而非岩溶区的下降比较明显。无论是岩溶区还是非岩溶区青冈栎凋落叶 P 含量最后 2 个月变化较小。分解一年后,P 元素含量树中间有较大差异,桂花大于青冈栎。岩溶区桂花 K1 的 P 含量由初始的 0.075%上升为 0.160%,而非岩溶区桂花 N1 的 P 含量由原来的 0.077%上升为 0.128%,前者上升 1 倍多,说明相对其他成分,分解损失 P 素较慢;同样,青冈栎凋落叶 P 素含量岩溶区由 0.045%上升到 0.097%,非岩溶区由 0.066%上升到 0.088%,前者上升 1 倍多。由此可见,尽管凋落叶初始 P 含量没有地质因素差异,但分解一年后,样品 P 含量均为上升,上升幅度岩溶区的大于非岩溶区,说明一年后参与叶片中 P 元素的损失率岩溶区小于非岩溶区。

2.4 凋落叶养分释放规律

凋落叶养分释放率反映了不同时期凋落叶通过物理及生化分解过程后的归还情况。从图 4 可见,从 C 元素总体释放趋势看,4 个凋落叶呈相似变化趋

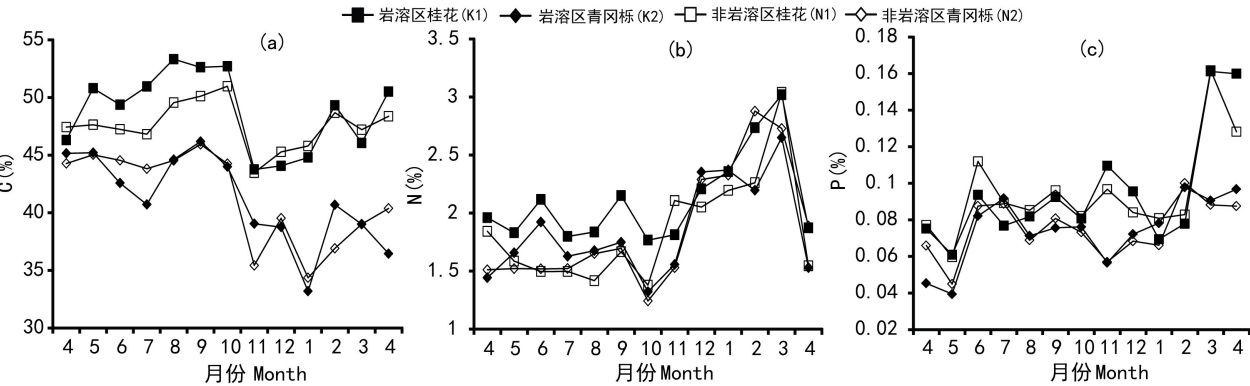


图 3 凋落叶 C、N、P 含量的变化
Fig. 3 Changes of C,N and P contents of leaf litters

势(图 4:a),即 C 元素持续释放,前 3 个月释放速度较快,第 4、5、6 个月速率较为平缓,第 7 个月非岩溶区的样品有所上升,后 5 个月释放速率趋于缓慢,可见凋落叶 C 元素释放最快的为前半年,且与失重率结果吻合。从物种因素看,C 元素的释放率基本上是青冈栎大于桂花,且岩溶区大于非岩溶区。从 N 元素释放趋势看,4 个凋落叶变化趋势比较复杂(图 4:b),前 4 个月,非岩溶区的两种叶片 N 释放率持续上升,第 5 个月略有下降,第 6 个月上升达到最大值,之后的 5 个月(即 11 月份至次年的 3 月份)持续下降,青冈在 2 月达最低值,而桂花在 3 月达最低值,两者均为负值,说明 N 素不仅没有释放而是累积。岩溶区两种叶片 N 释放率第 1 个月上升,桂花的上升速率快于青冈,但第 2 个月两者均下降,之后变化趋势与非岩溶区的一致,但第 7~11 月下降速率较非岩溶区的缓慢,岩溶区的桂花样品 N 释放率没有出现负值,从种类上看,桂花凋落叶 N 元素释放率高于青冈栎;从地质因素看岩溶区的高于非岩溶区。4 个凋落叶 P 元素释放趋势也较复杂(图 4:c),第 1 个月均上升较快,说明 P 元素为释放状态,第 2 个月下降至负值,说明 P 元素富集,第 3~6 个月间为平缓上升,之后曲线变化各不相同。除了第 7 个月(即 11 月份),岩溶区的桂花凋落叶 P 元素释放率低于非岩溶区外,其它月份均高于或近于非岩溶区;相反地,青冈栎凋落叶 P 元素释放岩溶区远小于非岩溶区。

2.5 分解过程中各个元素含量与凋落叶失重率的相关性分析

为研究元素的协同释放规律,将凋落叶失重率和分解过程中的 C、N、P、C : N、C : P、N : P 变化趋势进行 Pearson 相关分析(表 2),发现 C 变化趋

势与两地桂花凋落叶的失重率均未表现出相关性,和两地青冈栎凋落叶失重率呈极显著负相关,说明 C 的变化与地质因素无关,而与植物种类有关;N、P 变化与 4 个凋落叶失重率呈极显著的正相关,其中相关系数岩溶区青冈栎的最大,说明 N、P 的变化与植物种类相关也受到地质因素影响,而岩溶区的地质因素影响最大;C : N、C : P、N : P 与 4 个凋落叶失重率呈极显著负相关,其中相关系数也是岩溶区青冈栎的最大,同样说明了岩溶地质因素的作用极大。N、P 等元素可以促进凋落叶分解,但在不同分解阶段的作用又有所不同(Enriquez *et al.*, 1993; Saggarr *et al.*, 1998)。

表 2 凋落叶分解过程中失重率与各元素含量的 Pearson 相关系数

Table 2 Pearson correlation coefficient of weight loss rate of litter and each element in decomposition process

元素 Items	岩溶区 桂花 K1	岩溶区 青冈栎 K2	非岩溶区 桂花 N1	非岩溶区 青冈栎 N2
C	NS	-0.463**	NS	-0.342**
N	0.39**	0.481**	0.425**	0.238**
P	0.488**	0.584**	0.406**	0.237**
C:N	-0.279**	-0.521**	-0.347**	-0.28**
C:P	-0.455**	-0.702**	-0.462**	-0.405**
N:P	-0.455**	-0.702**	-0.462**	-0.405**

* : $P < 0.05$; ** : $P < 0.01$; NS: $P > 0.05$ 。

3 讨论

在相似的环境条件下,不同树种叶凋落物的分解速率主要取决于叶凋落物质地,特别是叶片 N、P 含量。凋落物分解主要是真菌与微生物过程,这些

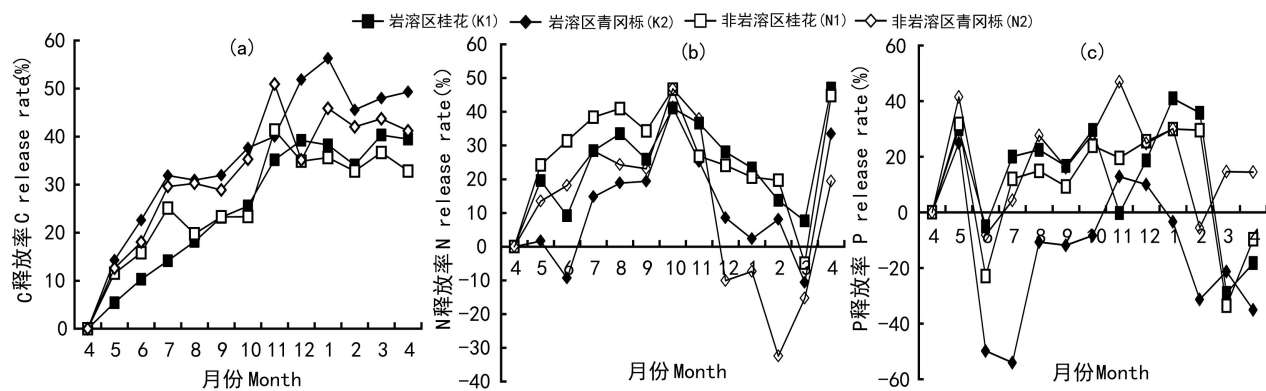


图4 凋落叶C、N、P释放率的变化

Fig.4 Changes of C, N and P release rates of leaf litters

微生物自身的 C : N 比或 C : P 通常低于凋落物,使得它们在分解过程中对 N、P 等养分有很高需求,当凋落物含这些养分较高时,微生物群落生长加快,分解也就加快(Enriquez *et al.*, 1993)。黄锦学等(2010)综合国内文献数据研究表明,凋落叶氮含量与分解速率呈极显著正相关,而 C : N 比与 P 含量与分解速率不呈显著相关。本研究两个物种之间,无论是岩溶区还是非岩溶区桂花的 N、P 含量均比青冈栎高,特别是在岩溶区 N 的含量达 1.961%,因此桂花的分解速率也比青冈栎快。当环境因素如地质因素不同, C : N 和 C : P 岩溶区青冈栎比非岩溶区青冈栎的高,但是桂花没有出现相似的规律性。

凋落物分解速率与年平均气温和降水量呈显著正相关,温度对微生物的数量和酶的活性有着重要影响,进而对凋落物的分解起着主导作用(Berg *et al.*, 1993)。本研究结果表明凋落叶失重率变化呈明显阶段性,即前半年分解速率较后半年大,这一现象在国内外有关凋落物分解试验中也有发现(Joslin *et al.*, 1987),并认为这与凋落物中可溶性物质的快速溶出有关。即分解初期新鲜凋落物中可溶性物质和易分解物质大量淋失,导致前期失重率快速上升;随着分解的进行,凋落物中易分解物质大量减少而难分解物质比例增加,使得后期失重率变化趋于平缓(王志香等, 2007)。此外,外界环境条件也可能是导致上述变化的主要原因, 4~10 月份是桂林高温多雨的季节,微生物的活动增强,加速凋落物的分解,使得凋落物进入快速分解期,造成了失重率快速增加。而 11 月至次年 3 月桂林气候变冷,气温开始下降,微生物活动强度减小,使得分解速率降低,从而导致失重率的增加趋于平缓。同时岩溶区由于地

表碳酸盐裸岩分布较广,土壤温度比较高即使在林内夏季地面温度也高达 29℃ 以上,以地表气温更是达 30℃ 以上(王晓英等, 2009),高温作用也可能是导致凋落物分解速率岩溶区大于非岩溶区重要原因,而这种作用的强度有多大还有待于进一步试验和研究。

CO₂ 浓度上升同样对凋落物分解也产生一定的影响,但这种影响是间接的。CO₂ 浓度上升可显著增加植物产量,并形成含氮量较低的有机物质,因而,碳氮比、木质素与 N 比等上升,因而分解会减慢(O. Neil *et al.*, 1996; Angelis *et al.*, 2000)。岩溶区由于碳酸盐岩的地质背景,地表相对于非岩溶区则比较干燥,但南方地区高温作用下岩溶动力学系统非常活跃(刘再华等, 1998),岩溶土含 Ca 量高,水分丰沛的季节,基岩对石灰土中 CO₂ 的溶蚀消耗作用增强,而造成土壤 CO₂ 浓度随土层深度明显下降(Liu *et al.*, 2009)。本研究中,凋落叶平均碳氮比,岩溶区与非岩溶区相比并没有表现出规律性,低 CO₂ 浓度的作用强度是否与相对干旱的作用强度相抵销仍需要试验证明;在复杂的岩溶动力学系统和 CO₂ 作用下,凋落叶碳氮比是否存在岩溶区普遍低于非岩溶区,由于我们的样本太小无法得出结论,但非常值得深入研究。

森林植物生长所需养分中 70%~90% 来自凋落物的分解,因此凋落物分解过程中养分释放对供应土壤养分和元素循环有重要的意义(赵其国等, 1991)。凋落叶在分解过程中,不同元素有其不同的分解特征。如 N、P 元素可分为 3 个阶段,即淋溶—积累—释放阶段。而且还因凋落叶种类、质量和分解阶段的不同而不同。总的来说可分为 3 种模式,

即淋溶—释放,淋溶—富集—释放和富集—释放(许晓静,2007)。本研究分析了凋落叶中 C、N、P 在分解过程中的变化趋势,C 元素持续释放,这与凋落叶失重率变化规律基本一致,与樟树(*Cinnamomum camphora*)、米老排(*Mytilaria laosensis*)、火力楠(*Michelia macclurei*)、黎蒴(*Castanopsis fissa*)、圆果化香(*Platycarya longipes*)、伞花木(*Eurycorymbus cavaleriei*)、青檀(*Pteroceltis tatarinowii*)、圆叶乌桕(*Sapium rotundifolium*)、八角枫(*Alangium chinense*)、黄荆(*Vitex negundo*)等凋落叶分解结果相似(张浩等,2008)。C 元素的快速释放对改善土壤养分状态,加快森林生态系统 C 循环有重要意义(何帆等,2012)。N 元素动态受生物因素影响较大,N 元素前期释放,而后富集,最后释放。可能是由于 4 个凋落叶的初始 N 含量较高,可满足微生物群落生长发育和分解活动所需 N 含量,因而初期释放,当释放到一定数量后不能满足微生物的分解活动而又被微生物固定,导致后期出现富集在凋落物分解过程中。而氮的积累被认为是微生物因素造成的(Aber *et al.*,1980),分解过程由于有机碳呼吸损失使叶量下降,而与此同时微生物原生质氮含量的升高,因而样品中氮量会上升造成氮富集的现象。P 元素动态由物理因素、化学因素和生物因素共同影响,但以生物因素的影响较大(Laskowski *et al.*,1995),本研究中凋落叶 P 元素表现为快速释放—富集—释放—再富集过程,除了分解过程的第 1 个月,其时间表现为干季释放而湿季富集的现象,这种现象可能与氮富集的原因一样,是因为微生物原生质 P 含量升高所致。

凋落叶干重残留率随时间的变化趋势与 C 含量、C : N、C : P 在分解过程中的变化趋势有着较显著的相关性(张浩等,2008),本试验得出 C、C : N、C : P 与凋落叶失重率呈极显著的负相关关系,正好符合这一结论。笔者认为,在桂北岩溶地区,叶片质量和土壤表面的环境条件可能有利于微生物的生长或活动,从而促进凋落物叶的分解,凋落叶分解失重率与 C 含量及 C : N、C : P 关系密切,N、P 元素含量高对干物质的分解有促进作用。有研究表明凋落物养分浓度,特别是 N、P 浓度和木质素、纤维素含量等,因影响分解速率和微生物活动而被认为是凋落物分解的预测指标。在凋落叶分解初期 N、P 浓度预测性较强,但到了分解后期,木质素、纤维素的影响更大(许晓静,2007)。本研究得出凋落叶分解

1 a 后,N、P 浓度变化和失重率呈显著正相关,而之后分解速率是否由木质素、纤维素以及热值能量变化来判断还有待进一步深入研究。

参考文献:

- 许晓静. 2007. 不同环境下几种园林树木落叶分解及 N、P 动态的研究[D]. 合肥:安徽农业大学
- 何帆. 2008. 秦岭林区主要树种凋落叶分解特征研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学
- Aber JD, Melillo JM. 1980. Litter decomposition: measuring relative contributions of organic matter and nitrogen to forest soils [J]. *Can J Bot*, **58**:416—421
- Aerts R, De Caluwe H. 1997. Nutritional and plant-mediated controls on leaf litter decomposition of *Carex speciosa* [J]. *Ecology*, **78**(1):244—260
- Angelis PD, Kesari SC, Giuseppe ESM. 2000. Litter quality and decomposition in a CO₂-enriched Mediterranean forest ecosystem [J]. *Plant Soil*, **224**:31—41
- Barlow J, Gardner TA, Ferreira LV, *et al.* 2007. Litter fall and decomposition in primary, secondary and plantation forests in the Brazilian Amazon [J]. *For Ecol Manag*, **247**(1/3):91—97
- Berg B, Berg MP, Bottner P, *et al.* 1993. Litter mass loss rates in pine forest of Europe and Eastern United States: some relationships with climate and litter quality [J]. *Biogeochemistry*, **20**(3):127—153
- Enriquez S, Duarte CM, Jensen K. 1993. Patterns in decomposition rates among photosynthetic organisms: the importance of detritus C : N : P content [J]. *Oecologia*, **94**:457—471
- Guo ZL(郭忠玲), Zheng JP(郑金萍), Ma YD(马元丹), *et al.* 2006. Researches on litterfall decomposition rates and model simulating of main species in various forest vegetations of Changbai Mountains, China(长白山各植被带主要树种凋落物分解速率及模型模拟的试验研究) [J]. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **26**(4):1 037—1 046
- He F(何帆), Wang DX(王得祥), Zhang SZ(张宋智), *et al.* 2012. The relationship between carbon release process and decomposition percentages of the leaf-litter in the *Pinus tabulaeformis* and *Quercus aliena* var. *acuteserrata* communities in the south slope of Qinling Mountain(秦岭南坡油松和锐齿栎群落凋落叶碳释放及其与分解的关系) [J]. *J Basic Sci Eng* (应用基础与工程科学学报), **20**(1):46—55
- Joslin ID, Henderson GS. 1987. Organic matter and nutrients associated with fine root turnover in a white oak stand [J]. *For Sci*, **33**:330—346
- Laskowski R, Niklinska M, Maryanski M. 1995. The dynamics of chemical elements in forest litter [J]. *Ecology*, **76**(5):1 393—1 406
- Liao JH, Wang HH, Tsai CC, *et al.* 2006. Litter production, decomposition and nutrient return of uplifted coral reef tropical forest [J]. *For Ecol Manag*, **235**(1/3):174—185
- Li XF(李雪峰), Zhang Y(张岩), Niu LJ(牛丽君), *et al.* 2007. Litter decomposition processes in the pure birch (*Betula papyrifera*) forest and the birch and poplar (*Populus davidiana*) mixed forest(长白山白桦纯林和白桦山杨混交林凋落物的分解) [J]. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **27**(5):1 782—1 790
- Lin YM(林勇明), Hong T(洪滔), Hu XS(胡喜生), *et al.* 2007.

- Interspecific association of major plants in *Osmanthus fragrans* secondary community and its response to mixing(桂花次生林群落主要树种种间关联及其对混交度的响应)[J]. *Chin J Appl Environ Biol*(应用与环境生物学报), **13**(3):327—332
- Liu F(刘芳), Liu CQ(刘丛强), Wang SL(王仕禄), *et al.* 2009. Temporal and spatial variations of greenhouse gases concentrations in soils in karst stone desertification area in central part of Guizhou Province[J]. *Environ Sci* (环境科学), **30**(11):3 136—3 141
- Liu ZH(刘再华), He SY(何师意), Yuan DX(袁道先). 1998. The relationship between soil CO₂ and karst process(土壤中的 CO₂ 及其对岩溶作用的驱动)[J]. *Hydrogeol & Eng Geol*(水文地质工程地质), **4**:42—45
- O.Neil EG, Norby RJ. 1996. Litter quality and decomposition rates of foliar litter produced under CO₂ enrichment[A]. In: Koch GW, Mooney HA eds. Carbon Dioxide and Terrestrial Ecosystems[C]. San Diego: Academic Press:87—103
- Saggar S, Parfitt RL, Salt G, *et al.* 1998. Carbon and phosphorus transformations during decomposition of pine forest floor with different phosphorus status[J]. *Biol Fert Soils*, **27**(2):197—204
- Tufekcioglu A, Raich JW, Isenhardt TM, *et al.* 1999. Fine root dynamics, coarse root biomass, root distribution, and soil respiration in amultispecies riparian buffer in central Iowa, USA[J]. *Agro For Syst*, **44**(2/3):163—174
- Wang J(王瑾), Huang JH(黄建辉). 2001. Comparison of major nutrient release patterns in leaf litter decomposition in warm temperate zone of China(温带地区主要树种叶片凋落物分解过程中主要元素释放的比较)[J]. *Acta Phytocol Sin*(植物生态学报), **25**(3)375—380
- Wang XY(王晓英), Huang YQ(黄玉清), Wang DM(王冬梅), *et al.* 2009. Photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence parameters of *Pteroceltis tatarinowii* in response to different habitats in Karst area(青檀光合作用和荧光特性对岩溶区不同生境的响应)[J]. *For Res*(林业科学研究), **22**(4):475—481
- Wang ZX(王志香), Zhou GY(周光益), Lin MX(林明献), *et al.* 2007. Study on leaf litter decomposition of 4 kinds of main forest trees of tropical forests in Diaoluo Mountain(吊罗山热带林4种主要林木的凋落叶分解研究)[J]. *J Anhui Agric Sci*(安徽农业科学), **35**(22):6 777—6 779
- Wei LM(魏鲁明), Yu DL(余登利), Chen ZR(陈正仁). 2009. Study on the dynamic variation of litter falls in Maolan karst forest(茂兰喀斯特森林凋落物量的动态研究)[J]. *J Nanjing For Univ; Nat Sci Edit*(南京林业大学学报·自然科学版), **33**(3):31—34
- Yi JJ(易继君). 2006. The community characteristics of natural *Osmanthus fragrans* forest of Zhouluo village in Liuyang City(浏阳周洛天然桂花林群落特征)[J]. *Human For Sci Technol*(湖南林业科技), **33**(3):68—69
- Zhang H(张浩), Zhuang XY(庄雪影). 2008. The leaf litter decomposition of four native broad-leaved tree species in south China(华南4种乡土阔叶树种枯落叶分解能力)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), **28**(5):2 395—2 403
- Zhao QG(赵其国), Wang MZ(王明珠), He YQ(何园球). 1991. Forest litter fall and its effect on the soil in Chinese tropic and subtropical regions(我国热带亚热带森林凋落物及其对土壤的影响)[J]. *Soils*(土壤), **23**(1):8—15
- 应俊生, 张玉龙. 1994. 中国种子植物特有属[M]. 北京: 科学出版社:1
- 汪松, 解焱. 2004. 中国物种红色名录(第1卷)[M]. 北京: 高等教育出版社
- 吴征镒, 孙航, 周浙昆, 等. 2006. 种子植物分布区类型及其起源和分化[M]. 昆明: 云南科技出版社:36
- 吴征镒, 孙航, 周浙昆, 等. 2010. 中国种子植物区系地理[M]. 北京: 科学出版社
- 陆树刚. 2007. 蕨类植物学[M]. 北京: 高等教育出版社
- 覃海宁, 刘演. 2010. 广西植物名录[M]. 北京: 科学出版社
- Huang YS, Wu WH, Xu WB, *et al.* 2011. *Firmiana calvarea* sp. nov.(Malvaceae) from limestone areas in Guangxi, China[J]. *Nordic*, **29**:608—610
- IUCN. 2001. Iucn Red List Categories and Criteria(Ver.3)[M]. IUCN Publications service Unit, Gland Switzerland and Cambridge
- Liang CF(梁畴芬), Mo XL(莫新礼). 1982a. Materials for the flora of Longgang Conservation Area, Guangxi(广西弄岗自然保护区植物区系资料)[J]. *Guihaia*(广西植物), **2**(2):61—67
- Liang CF(梁畴芬), Mo XL(莫新礼). 1982b. Materials for the flora of Longgang conservation area, Guangxi(广西弄岗自然保护区植物区系资料(II))[J]. *Guihaia*(广西植物), **2**(3):143—146
- Liang CF(梁畴芬), Liang JY(梁健英), Liu LF(刘兰芳), *et al.* 1988. A report on the exploration of the flora of Longgang(弄岗自然保护区植物区系考察报告)[J]. *Guihaia*(广西植物), 增刊 **1**:83—184
- Lu YX(陆益新), Huang GB(黄广宾), Liang CF(梁畴芬). 1989a. Study on the endemic plants from Guangxi(广西特有植物的研究)[J]. *Guihaia*(广西植物), **9**(1):37—58
- Lu YX(陆益新), Huang GB(黄广宾), Liang CF(梁畴芬). 1989b. Study on the endemic plants from Guangxi(广西特有植物的研究(续一))[J]. *Guihaia*(广西植物), **9**(2):119—186
- Lu YX(陆益新), Huang GB(黄广宾), Liang CF(梁畴芬). 1989c. Study on the endemic plants from Guangxi(广西特有植物的研究(续完))[J]. *Guihaia*(广西植物), **9**(3):201—210
- Su ZY(苏志尧), Chang HT(张宏达). 1994. Endemism in the flora of Guangxi(广西植物区系的特有现象)[J]. *J Trop Subtr Bot*(热带亚热带植物学报), **2**(1):1—9
- Wang WC(王文采), Huang SZ(黄燮才). 1982. A new species of *Chirita* (Gesneriaceae)(唇柱苣苔属一新种)[J]. *Guihaia*(广西植物), **2**(4):171—174
- Yan YH(严岳鸿). 2011. Endemic fern of China need protection(中国特有蕨类植物亟须保护)[J]. *Chin Flow & Horti*(中国花卉园艺), **3**:12—13

(上接第 355 页 Continue from page 355)