

重庆海石公园不同演替阶段群落木本植物凋落叶性状及与分解的关系^①

祝佳杏, 曾嘉庆, 党成强, 陈 森, 陶建平

西南大学 生命科学学院/三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400715

摘要:以重庆海石公园人为干扰后自然恢复约 50 a、20 a 和 5 a 的石灰岩地区次生演替群落为研究对象, 探讨群落水平上不同演替阶段凋落叶功能性状和分解速率的变化规律及二者的联系。结果显示, 各演替阶段由较高的群落比叶面积(CSLA)、群落叶氮含量(CLNC)、群落叶磷含量(CLPC)和较低的群落叶干物质含量(CLDMC)向较低的 CSLA、CLNC、CLPC 和较高的 CLDMC 转变。在分解 160 d 后, 20 a 恢复群落凋落叶的分解速率最大, 50 a 恢复群落的分解速率最小。在物种水平和群落水平上, LDMC 可以较好地预测凋落叶分解, LPC 在群落水平也表现出重要的预测能力。随着群落的不断发展, 凋落叶 LDMC 对分解的预测作用在物种水平和群落水平上具有较好的一致性, 能较好地反映群落演替过程中的生境状况、植被生长情况及生态系统过程的变化。

关键词:石灰岩地区; 演替; 功能性状; 凋落叶分解

中图分类号: Q948.1

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2017)09-0051-08

植物功能性状是指能够响应生存环境的变化并/或对生态系统功能有一定影响的植物性状^[1], 它强调与生态系统过程和功能的关系^[2], 可以直接预测生态系统发展过程中植物群落和生态系统功能的变化^[3-5], 也为联系环境因子与物种特性提供了方法支撑^[4], 研究植物功能性状在群落间的变化有助于理解演替过程中群落结构变化及对生态系统过程的影响。

凋落物分解是陆地生态系统中养分循环的关键环节^[6-7], 凋落物分解快慢决定着土壤养分供应能力的大小, 进而影响植被演替的进程^[8]。在不同演替阶段, 由于植被组成和土壤条件不同, 叶片功能性状随之发生改变^[9-11]。植物群落有效性状通过凋落叶基质质量与群落凋落叶分解速率紧密联系^[10], 进而影响凋落物分解及养分循环。目前相关研究多重视物种水平上凋落叶功能性状与分解的关系^[12-13], 也有相当多的工作关注凋落物混合分解过程^[14-16], 但这些工作还不足以解释群落内随着物种组成及多度变化的情况下群落水平上凋落物的分解过程。特别是在我国的西南石灰岩石漠化地区, 由于生产和开发导致的群落稳定性问题十分突出, 其中凋落物及分解过程对于水土保持、土壤肥力维持和生态系统内物质的生物小循环起着十分关键的作用。在特殊的石灰岩石漠化地区开展群落水平上的功能性状及与凋落物分解的相关研究, 有助于我们从功能生态学的角度进一步认识石灰岩地区植被的演替过程, 对于将功能性状的研究方法用于特殊生境群落水平上的凋落物分解探索也是一次新的、有益的尝试。

① 收稿日期: 2016-03-17

基金项目: 重庆市科委自然科学基金项目(2010BB1011)。

作者简介: 祝佳杏(1990-), 女, 山西忻州人, 硕士研究生, 主要从事植物群落生态学研究。

通信作者: 陶建平, 教授, 博士研究生导师。

基于以上目的,本文以重庆市中梁山石漠化地区的灌草群落为对象,调查了人为干扰后自然恢复演替约 5 a,20 a 和 50 a 的灌草群落基本特征,对不同演替阶段群落主要木本植物叶片的功能性状及凋落叶分解进行了研究,重点探讨:① 群落水平上调落叶功能性状随演替进程的变化趋势及其与群落演替的关联;② 凋落叶在群落水平上随演替进程的分解规律;③ 个体水平和群落水平凋落叶功能性状对其分解的预测效果.

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区域概况

研究区位于重庆市沙坪坝区中梁山北段海石公园内(29°39′—30°03′ N,106°18′—106°56′ E),是典型的喀斯特地貌,属中亚热带湿润季风气候.年均温 18 ℃,海拔 500~700 m,年均降水量为 1 000~1 300 mm,夏季高温多雨,冬暖多雾.土壤为石灰岩上发育的山地黄壤和山地黄棕壤,由于人为干扰,在 20 世纪 50 年代末—60 年代初,大量森林被砍伐殆尽,园内岩石大量裸露,土层浅薄,土被不连续,土壤富钙偏碱性,植物生长缓慢,植被覆盖率低.目前公园内主要植被是以南天竹 *Nandina domestica*、火棘 *Pyracantha fortuneana*、盐肤木 *Rhus chinensis*、芒 *Miscanthus sinensis* 等为优势种的次生灌草群落^[17].

1.2 研究方法

1.2.1 群落调查

于 2014 年 7 月在海石公园内选取人为干扰后恢复程度不同的 3 个典型演替阶段,即恢复 5a,20 a 和 50 a 的群落为样地(表 1),其中 50 a 演替阶段取 10 m×20 m 的样方 3 个,20 a 和 5 a 取 10 m×10 m 的样方各 3 个,将大样方划分成 5 m×5 m 的小样方,按常规群落学野外调查方法,进行主要木本植物物种密度、盖度和频度的调查.

表 1 不同演替阶段群落主要特征

演替阶段	成因	主要群落特征	主要木本物种
5 a	2010 年道路修建影响所形成的次生裸地上的演替	群落层次明显,草本层为优势层,灌木种类和数量均较少,且幼小植株较多	黄荆 <i>Vitex negundo</i> 、山麻杆 <i>Alchornea davidii</i> 、红泡刺藤 <i>Rubus niveus</i> 、光枝勾儿茶 <i>Berchemia polyphylla</i> 、火棘 <i>Pyracantha fortuneana</i> 、铁仔 <i>Myrsine africana</i> 等
20 a	1980 年代中期公园修建时形成的次生裸地上的演替	群落层次不明显,草本和灌木互相嵌生,草本层以多年生植物为主,灌木层以小灌木为主,优势层逐渐转向灌木层	铁仔 <i>Myrsine africana</i> 、黄荆 <i>Vitex negundo</i> 、金山葵藤 <i>Viburnum chinshanense</i> 、光枝勾儿茶 <i>Berchemia polyphylla</i> 、棕榈 <i>Trachycarpus fortunei</i> 、异叶鼠李 <i>Rhamnus heterophylla</i> 等
50 a	1960 年代人为大量砍伐后次生裸地上的演替	群落层次明显,灌木层为优势层,是向灌木林演替的阶段,以小灌木和藤刺灌木为主,草本以多年生植物为主	光枝勾儿茶 <i>Berchemia polyphylla</i> 、金樱子 <i>Rosa laevigata</i> 、铁仔 <i>Myrsine africana</i> 、黄荆 <i>Vitex negundo</i> 、南天竹 <i>Nandina domestica</i> 、盐肤木 <i>Rhus chinensis</i> 、火棘 <i>Pyracantha fortuneana</i> 、香花崖豆藤 <i>Millettia dielsiana</i> 、小果蔷薇 <i>Rosa cymosa</i> 等

1.2.2 凋落叶采集

依据群落调查结果,于 2014 年 9—11 月在海石公园内采集各演替阶段主要木本物种(表 2,共 16 个物种)的凋落叶,置于实验室内自然风干.材料的采集及储存方法参照文献^[18].

1.2.3 凋落叶功能性状测定

每物种选取 10 个重复(无病虫害,生理状态相似的叶片),分别测定叶干物质含量(LDMC)、比叶面积(SLA)和物理强度(LT)^[18]. 将各物种的风干叶片用球磨仪粉碎后进行叶片元素的测定. 叶片全碳(LCC)和全氮含量(LNC)利用 Elementar 德国 CHNS-O 元素分析仪测定,全磷含量(LPC)采用钼锑抗比色法测定.

1.2.4 凋落叶分解实验

用分解袋法进行凋落物分解实验. 凋落物袋大小为 10 cm×15 cm,网孔大小为 1 mm×1 mm,每个分解袋内放入 3 g 风干样品,并订好标签. 于 2014 年 12 月 30 日放入海石公园内条件相似的 3 块较平坦样地,每个样地内每物种放置 3 袋,于 2015 年 6 月收获带回实验室处理(共分解 160 d). 另外,每物种留出 3 份样品烘干以测量初始凋落叶的含水率. 带回实验室的样品用清水快速冲洗,小心去除根和泥沙等杂物,在 80 °C 下烘干至恒质量,并称量.

1.3 数据处理

1.3.1 物种重要值计算

$$IV = (RD + RF + RC) / 3$$

式中, IV 为重要值; RD 为相对密度; RF 为相对频度; RC 为相对盖度.

1.3.2 演替阶段功能性状加权值的计算

根据各演替阶段主要木本植物的重要值,对其相应的功能性状和分解速率予以加权赋值^[9, 19],从而计算出各演替阶段主要木本植物功能性状加权值(群落植物特征的加权平均数 Community Weighted-Means)为

$$CWM = \sum_{i=1}^S P_i \times trait_i$$

其中, p_i 指该群落中第 i 个物种在该群落中的相对贡献率(本研究选取重要值作为加权指标), $trait_i$ 为种的特征值, S 为群落中物种数. 文中经过重要值加权的性状均以 C_{trait} 表示.

1.3.3 凋落物分解速率计算

采用 Olson^[20] 指数模型计算凋落物分解速率

$$X_t / X_0 = e^{-kt}$$

式中: X_t 为分解时间 t 时的干质量; X_0 为凋落物的初始干质量; k 为凋落物的年分解速率.

1.3.4 数据分析

通过重要值对功能性状加权得到群落水平相对应的功能性状值,对不同演替阶段的群落功能性状和凋落叶分解速率进行 one-way ANOVA 分析,并运用最小显著差异法(LSD)进行多重比较;对不同演替阶段的群落功能性状、物种水平和群落水平上调落叶功能性状与分解速率的关系进行 Spearman 相关性分析. 采用 SPSS19.0 统计软件对数据进行统计分析(统计显著水平均为 $p=0.05$),使用 Origin8.6 作图.

2 结果分析

2.1 物种重要值

在群落演替过程中,黄荆 *Vitex negundo* 在 5 a 恢复群落和 20 a 恢复群落中所占比例都较大,在 5 a 恢复群落中黄荆多为当年生或近 2 年生,密度大而盖度小,在群落中占较大比例,而 50 a 恢复群落中黄荆的萌生株数减少而实生株数增大,多为多年生植株,密度小而盖度大,重要值大幅降低. 铁仔 *Myrsine Africana* 在 20 a 恢复群落中重要值最大,5 a 恢复群落中最小,其在以草本层为优势层向以灌木层为优势层的演替发展中发挥着重要作用. 山麻杆 *Alchornea davidii* 和红泡刺藤 *Rubus niveus* 属于先锋树种,在 5 a 恢复群落中大量存在,之后随着演替进行大幅减少. 金山英蒴 *Viburnum chinshanense* 在 5 a 恢复群落没有出现,但在 20 a 恢复群落中大量出现,到 50 a 恢复群落中却只出现几株,是典型的群落更替中物种更替的代

表. 藤刺灌木金樱子 *Rosa laevigata* 在 50 a 恢复群落中重要值大幅度增加(表 2).

表 2 不同演替阶段主要木本植物重要值

物 种	重 要 值/%			总重要值/ %
	5 a	20 a	50 a	
黄荆 <i>Vitex negundo</i>	17.91	13.41	5.79	37.11
光枝勾儿茶 <i>Berchemia polyphylla</i>	8.72	10.60	15.60	34.92
铁仔 <i>Myrsine africana</i>	6.49	16.01	11.21	33.71
山麻杆 <i>Alchornea davidii</i>	12.85	5.62	1.67	20.14
红泡刺藤 <i>Rubus niveus</i>	13.13	5.18	1.74	20.05
金樱子 <i>Rosa laevigata</i>	1.31	4.34	12.93	18.58
火棘 <i>Pyracantha fortuneana</i>	8.15	5.01	5.09	18.25
小果蔷薇 <i>Rosa cymosa</i>	4.64	5.56	4.40	14.60
金山茱萸 <i>Viburnum chinshanense</i>	—	13.11	0.78	13.89
棕榈 <i>Trachycarpus fortunei</i>	—	6.99	2.44	9.43
香花崖豆藤 <i>Millettia dielsiana</i>	4.59	—	4.64	9.23
异叶鼠李 <i>Rhamnus heterophylla</i>	—	5.68	3.36	9.04
菝葜 <i>Smilax china</i>	5.78	—	2.36	8.14
南天竹 <i>Nandina domestica</i>	1.61	—	5.65	7.26
女贞 <i>Ligustrum lucidum</i>	1.42	1.70	3.31	6.43
盐肤木 <i>Rhus chinensis</i>	—	—	5.16	5.16
乌桕 <i>Diospyros cathayensis</i>	—	—	3.57	3.57
其他	13.41	6.8	10.30	30.51

注：“—”指该群落中没有此物种；表 2 中物种按照 3 个演替阶段总重要值降序排序；表 2 中除红泡刺藤外，其余 16 种为本研究凋落叶采集的对象物种.

2.2 不同演替阶段凋落叶的功能性状

随着演替的进行，20 a 恢复群落的 *CLT* 和 *CLCC* 均高于 50 a 和 5 a 恢复群落，各阶段之间差异均具有统计学意义($p<0.05$)，但总体呈增加趋势；*CLDMC* 和 *CC/N* 随着演替的进行而增加，*CSLA*，*CLNC* 则呈现相反的趋势；50 a 恢复群落的 *CLPC* 显著小于 20 a 和 5 a，且 20 a 和 5 a 的 *CLPC* 差异不具有统计学意义；与 *CLPC* 的变化趋势相反，50 a 恢复群落的 *CN/P* 最大，20 a 和 5 a 的 *CN/P* 较低且没有显著变化(表 3). 随着演替的进行，群落由高 *CSLA*，*CLNC*，*CLPC* 和低 *CLDMC* 向低 *CSLA*，*CLNC*，*CLPC* 和高 *CLDMC* 转变.

表 3 不同演替阶段主要木本植物凋落叶功能性状加权平均数(平均值±SE)

功能性状	5 a	20 a	50 a
<i>CLT</i> /(N·mm ⁻¹)	0.43±0.014c	0.82±0.036a	0.72±0.012b
<i>CSLA</i> /(mm ² ·mg ⁻¹)	14.29±0.245a	13.39±0.233b	11.36±0.251c
<i>CLDMC</i> /(mg·g ⁻¹)	318.18±3.648c	344.37±5.184b	373.32±4.214a
<i>CLCC</i> /(mg·g ⁻¹)	420.04±0.987c	441.03±0.556a	432.05±0.482b
<i>CLNC</i> /(mg·g ⁻¹)	18.89±0.094a	17.87±0.101b	16.39±0.073c
<i>CLPC</i> /(mg·g ⁻¹)	1.29±0.021a	1.28±0.006a	0.90±0.010b
<i>CC/N</i>	20.68±0.090c	23.63±0.115b	24.14±0.121a
<i>CN/P</i>	14.88±0.193b	14.54±0.264b	17.86±0.141a

注：*CLT*(群落物理强度)；*CSLA*(群落比叶面积)；*CLDMC*(群落干叶物质含量)；*CLCC*(群落叶碳含量)；*CLNC*(群落叶氮含量)；*CLPC*(群落叶磷含量)；*CC/N*(群落叶碳氮比)；*CN/P*(群落叶氮磷比)；同一行数值后所列字母不同表示差异具有统计学意义($p<0.05$).

通过 Spearman 相关性分析(表 4)，*CLNC* 和 *CSLA* 与不同演替阶段均表现出极显著的负相关，而

CLDMC 和 *CC/N* 与不同演替阶段呈现出极显著的正相关, 与 *CLPC* 呈显著负相关. 结合表 3, *CLNC*, *CLDMC*, *CC/N* 和 *CSLA* 随着演替的进行表现出明显的规律性变化. 随着群落的不断发展, *CLNC*, *CLDMC*, *CC/N* 和 *CSLA* 能较好地体现不同演替阶段的差异.

表 4 不同演替阶段主要木本植物凋落叶功能性状加权平均数 Spearman 相关性分析

	<i>CLT</i>	<i>CSLA</i>	<i>CLDMC</i>	<i>CLCC</i>	<i>CLNC</i>	<i>CLPC</i>	<i>CC/N</i>
<i>CSLA</i>	0.417						
<i>CLDMC</i>	−0.417	0.817					
<i>CLCC</i>	−0.883**	0.317	−0.433				
<i>CLNC</i>	0.417	−0.867**	0.850**	0.483			
<i>CLPC</i>	0.183	−0.600	0.800**	0.117	−0.650		
<i>CC/N</i>	−0.417	0.867	−0.850**	−0.483	1.000**	0.650	
演替阶段	0.474	−0.896**	0.949**	0.474	−0.949**	−0.791*	0.949**

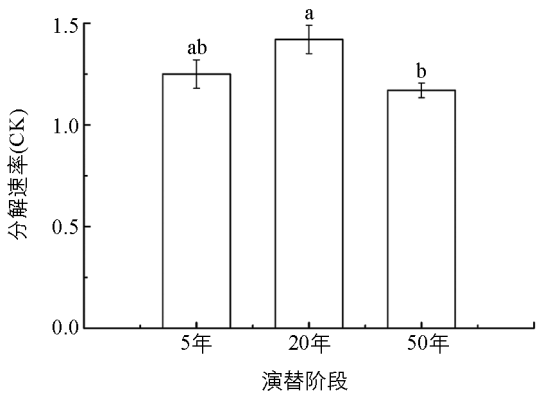
注: ** 表示在 $p=0.01$ 水平(双侧)上差异极具有统计学意义; * 表示在 $p=0.05$ 水平(双侧)上差异具有统计学意义.

2.3 不同演替阶段凋落叶分解

随着演替发展, 各演替阶段凋落叶分解状况不同. 在分解 160 d 后, 50 a 恢复群落的分解速率最小, 分解最慢, 20 a 恢复群落的分解速率最大, 分解最快, 且 50 a 恢复群落的凋落叶分解速率较 20 a 恢复群落显著降低(图 1). 总体来说, 随演替进行, 群落凋落叶分解有变慢的趋势.

2.4 凋落叶功能性状与分解的关系

Spearman 相关性分析显示, 在群落水平上与凋落叶的分解速率(*CK*)显著相关的性状从大到小依次为 *CLPC*, *CLDMC*, *CLNC* = *CC/N*, 其中 *CK* 分别与 *CLPC* 和 *CLDMC* 呈极显著的正相关和极显著的负相关. *LDMC* 在物种水平和群落水平上均对分解有着重要的指示作用(表 5).



不同字母表示 $p=0.05$ 水平差异具有统计学意义.

图 1 不同演替阶段群落凋落叶分解速率

表 5 物种水平和群落水平上凋落叶功能性状与分解的 Spearman 相关性分析

<i>K</i>		<i>CK</i>	
<i>LT</i>	−0.123	<i>CLT</i>	0.009
<i>SLA</i>	0.513**	<i>CSLA</i>	0.086
<i>LDMC</i>	−0.516**	<i>CLDMC</i>	−0.556**
<i>LCC</i>	−0.367**	<i>CLCC</i>	−0.061
<i>LNC</i>	0.467**	<i>CLNC</i>	0.466*
<i>LPC</i>	0.408**	<i>CLPC</i>	0.599**
<i>C/N</i>	−0.492**	<i>CC/N</i>	−0.466*

注: ** 表示在 $p=0.01$ 水平(双侧)上差异极具有统计学意义; * 表示在 $p=0.05$ 水平(双侧)上差异具有统计学意义.

3 讨 论

3.1 不同演替阶段凋落叶的功能性状比较

群落在演替的过程中, 不同物种在不同演替阶段的地位(重要值)不同, 导致不同群落各功能指标的群落加权平均数也会不同. *SLA* 可以反映植物对碳的获取和平衡的关系^[21], *LDMC* 主要反映的是植物对养分元素的保有能力^[22], 二者与植物的相对生长速率和资源利用有密切的关系. 这说明随着演替的不断发展, 群落植被由迅速获取资源型(高 *CSLA*, *CLNC* 和低 *CLDMC*)转变为保持体内养分能力较强型(低 *CS-*

LA, CLNC 和高 CLDMC), 对光及土壤养分的利用效率增强, 进一步促进演替. 50 a 恢复群落的 CLPC 明显低于 5 a 恢复群落和 20 a 恢复群落, 这可能是由于在土壤发育过程中, 风化侵蚀使土壤中原生矿物逐渐消失, 土壤中的磷酸盐从非闭蓄态的有机矿物形式转变为闭蓄态和有机结合的形式, 难以利用^[23], 可被植物吸收的有效磷越来越有限, 导致植物体各器官的含磷量逐渐降低^[11].

3.2 不同演替阶段凋落叶的分解及与功能性状的关系

在演替过程中, 由于先锋树种具有养分迅速获得的生态策略, 分解较快. 以先锋物种为优势种的群落通过这种策略推动群落发展为更先进的演替阶段, 即干扰越强的群落, 其生态策略更趋向于养分快速循环型, 分解较快; 随着群落的恢复, 其生态策略逐渐转为养分保守型, 分解变慢^[24]. 本研究中随着演替的进行, 主要木本植物凋落叶分解速率呈现出先上升后下降的趋势, 这可能是由于本研究在采集用于分解的凋落叶时有部分物种已经落叶, 如在 5 a 恢复群落中占重要地位的红泡刺藤 *Rubus niveus*; 另外, 5 a 恢复群落临近路边, 人为干扰频繁, 植被生长受到较大影响, 强烈干扰着群落中物种种类及数量组成等, 最终导致其分解速率并没有 20 a 恢复群落快. 但 50 a 恢复群落的分解速率低于 5 a 恢复群落和 20 a 恢复群落, 即演替过程中主要木本植物凋落叶分解速率呈降低趋势, 群落向养分保守型转变.

Kazakou 等^[18]发现植物的有效功能性状可以影响物种潜在的“后生命效应”对生态系统特性的影响. 本研究中物种水平上 LDMC 与凋落叶分解的关系呈现出显著的负相关关系, SLA 和 C/N 次之, 这与之前的很多研究结果相似, LDMC 是凋落叶化学组成及其分解最好的预测者^[4-5, 7, 10, 25]. LDMC 与土壤有机质相关, 也可以反应叶片的叶肉组织与厚壁维管组织的比例^[26], 并与凋落叶的半纤维素含量有关^[10]. 从群落水平来看, 植物功能性状的群落加权平均数与群落的分解能力有很好的相关性, 且随着演替的进行, 高 SLA, LNC 和低 LDMC 的物种逐渐被低 SLA, LNC 和高 LDMC 的物种取代, 分解速率也会呈现出变慢的趋势^[10, 25]. 在群落水平上, CLPC 和 CLDMC 与凋落叶分解的关系最紧密. CLPC 的突出作用可能是由于在石灰岩地区这种特殊生境中相比 N 来看, P 的可利用性更低, 限制作用更强^[27-31], 从而影响凋落物分解过程中酶和微生物等的作用, 这使 CLPC 对分解的影响比 CLNC 更大. 另外, 我国 P 含量的平均水平明显低于全球, 而本研究中 20 a 恢复群落和 50 a 恢复群落的 P 含量和 N/P 均低于全国灌木平均水平 ($P=1.11 \text{ mg/g}$, $N/P=14.7$)^[32], 这说明本研究点主要木本植物 P 含量受到很大的制约, 尤其是在演替后期阶段.

在本研究中, LDMC 对凋落物分解有较好的预测作用, 在物种水平和群落水平上达到了一致性. 如果该结论被大量群落研究证实, 我们可以通过简单、易测量的有限物种的相关性状来预测物种非常丰富的群落的生态系统特性, 获得生态系统功能方面的重要信息, 并描述和预测从物种水平上升到生态系统的物质循环. 群落水平上 LDMC 的变化可以较好地反映群落演替过程中植被生态对策的转变, 且与群落水平上凋落叶分解关系密切, 能较好地反映群落演替过程中其生境状况、植被生长情况及生态系统过程的变化.

参考文献:

- [1] DÍAZ S, CABIDO M. Vive La Diference: Plant Functional Diversity Matters to Ecosystem Processes [J]. Trends in Ecology and Evolution, 2001, 16(11): 646—655.
- [2] 孟婷婷, 倪健, 王国宏. 植物功能性状与环境 and 生态系统功能 [J]. 植物生态学报, 2007, 31(1): 150—165.
- [3] LAVOREL S, GARNIER E. Predicting Changes in Community Composition and Ecosystem Functioning from Plant Traits: Revisiting the Holy Grail [J]. Functional Ecology, 2002, 16(5): 545—556.
- [4] FORTUNEL C, GARNIER E, JOFFER R, et al. Leaf Traits Capture the Effects of Land Use Changes and Climate on Litter Decomposability of Grasslands across Europe [J]. Ecology, 2009, 90(3): 598—611.
- [5] ROBIN J P, ANTINIA E, ANDREW S. Leaf Dry Matter Content as a Predictor of Grassland Litter Decomposition: a Test of the ‘Mass Ratio Hypothesis’ [J]. Plant Soil, 2011, 342(1/2): 49—57.

- [6] CHAPIN III F S, MATSON P A, MOONEY H A. Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology [M]. New York: Springer-Verlag, 2002.
- [7] KAZAKOU E, VIOLLE C, ROUMET C, et al. Litter Quality and Decomposability of Species from a Mediterranean Succession Depend on Leaf Traits but not on Nitrogen Supply [J]. Annals of Botany, 2009, 104(6): 1151—1161.
- [8] 宋新章, 江 洪, 余树全, 等. 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] GARNIER E, CORTEZ J, BILLES G, et al. Plant Functional Makers Capture Ecosystem Properties during Secondary Succession [J]. Ecology, 2004, 85(9): 2630—2637.
- [10] CORTEZ J, GARNIER E, PÉREZ-HARGUINDEGUY N, et al. Plant traits, Litter Quality and Decomposition in a Mediterranean Old-Field Succession [J]. Plant Soil, 2007, 296(1/2): 19—34.
- [11] 胡耀升, 么旭阳, 刘艳红. 长白山森林不同演替阶段植物与土壤氮磷的化学计量特征 [J]. 应用生态学报, 2014, 25(3): 632—638.
- [12] 李玉霖, 孟庆涛, 赵学勇, 等. 科尔沁沙地植物成熟叶片性状与叶凋落物分解的关系 [J]. 2008, 28(6): 2486—2494.
- [13] CORNWELL W K, CORNELISSEN J H C, AMATANGEL O K, et al. Plant Species Traits are the Predominant Control on Litter Decomposition Rates within Biomes Worldwide [J]. Ecology Letters, 2008, 11(10): 1065—1071.
- [14] 陈法霖, 郑 华, 阳柏苏, 等. 中亚热带几种针阔叶树种凋落物混合分解对土壤微生物群落碳代谢多样性的影响 [J]. 生态学报, 2011, 31(11): 3027—3035.
- [15] LUMMER D, SCHEU S, BUTENSCHOEN O. Connecting Litter Quality, Microbial Community and Nitrogen Transfer Mechanisms in Decomposing Litter Mixtures [J]. Oikos, 2012, 12(10): 1649—1645.
- [16] 李宜浓, 周晓梅, 张乃莉, 等. 陆地生态系统混合凋落物分解研究进展 [J]. 生态学报, 2016, 36(16): 1—11.
- [17] 范文武, 陈晓德, 李加海, 等. 重庆中梁山海石公园石灰岩山地植物多样性研究 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2009, 31(5): 106—110.
- [18] CORNELISSEN J H C, LAVOREL S, GARNIER E, et al. A Handbook of Protocols for Standardised and Easy Measurement of Plant Functional Traits Worldwide [J]. Australian Journal of Botany, 2003, 51(4): 335—380.
- [19] KAZAKOU E, VILE D, SHIPLEY B, et al. Co-Variations in Litter Decomposition, Leaf Traits and Plant Growth in Species from a Mediterranean Old-Field Succession [J]. Functional Ecology, 2006, 20(1): 21—30.
- [20] OLSON J S. Energy Storage and the Balance of Producers and Decomposition in Ecological System [J]. Ecology, 1963, 44(2): 322—331.
- [21] WILSON P J, THOMPSON K, HODGSON J G. Specific Leaf Area and Leaf Dry Matter Content as Alternative Predictors of Plant Strategies [J]. New Phytologist, 1999, 143(1): 155—162.
- [22] ACKERLY D D, KNIGHT C A, WEISS S B. Leaf size, Specific Leaf Area and Microhabitat Distribution of Chaparral Plants: Contrasting Patterns in Species Level and Community Level Analyses [J]. Oecologia, 2002, 130(3): 449—457.
- [23] CREWS T E, KITAYAMA K, FOWDES J H, et al. Changes in Soil Phosphorus Fractions and Ecosystem Dynamics across a Long Chronosequence in Hawaii [J]. Ecology, 1995, 76(5): 1407—1424.
- [24] BAKKER M A, CARREÑO-ROCABADO G, POORTER L. Leaf Economics Traits Predict Litter Decomposition of Tropical Plants and Differ among Land Use Types [J]. Functional Ecology, 2011, 25(3): 473—483.
- [25] QUESTED H, ERIKSSON O, FORTUNEL C, et al. Plant Traits Relate to Whole-Community Litter Quality and Decomposition Following Land Use Change [J]. Functional Ecology, 2007, 21(6): 1016—1026.
- [26] GARNIER E, LAURENT G. Leaf Anatomy, Specific Mass and Water Content in Congeneric Annual and Perennial Grass Species [J]. New Phytologist, 1994, 128(4): 725—736.
- [27] AERTS R. Climate, Leaf Litter Chemistry and Litter Decomposition in Terrestrial Ecosystems: a Triangular Relationship [J]. Oikos, 1997, 79(3): 439—449.
- [28] HOBBIIE S E, VITOUSEK P M. Nutrient Limitation of Decomposition in Hawaiian Forests [J]. Ecology, 2000, 81(7): 1867—1877.

- [29] WIEDER W R, CLEVELAND C C, TOWNSEND A R. Controls Over Leaf Litter Decomposition in Wet Tropical Forests [J]. *Ecology*, 2009, 90(12): 3333—3341.
- [30] 罗绪强, 张桂玲, 杜雪莲, 等. 茂兰喀斯特森林常见钙生植物叶片元素含量及其化学计量学特征 [J]. *生态环境学报*, 2014, 23(7): 1121—1129.
- [31] 杨 慧, 李青芳, 涂春艳, 等. 桂林毛村岩溶区典型植物叶片碳、氮、磷化学计量特征 [J]. *广西植物*, 2015, 35(4): 493—499.
- [32] HAN Wen-xuan, FANG Jing-yun, GUO Da-li, et al. Leaf Nitrogen and Phosphorus Stoichiometry Across 753 Terrestrial Plant Species in China [J]. *New Phytologist*, 2005, 168(2): 377—385.

Leaf Litter Functional Traits and Decomposition of Woody Plants at Different Community Successional Stages in Haishi Park in Chongqing

ZHU Jia-xing, ZENG Jia-qing, DANG Cheng-qiang,
CHEN Miao, TAO Jian-ping

School of Life Science, Southwest University/Key Laboratory of Eco-Environments of Three Gorges Reservoir Region, Ministry of Education, Chongqing 400715, China

Abstract: Leaf litter functional traits and litter decomposition rates of woody plants from three different successional stages (5-, 20- and 50-year natural recovery after anthropogenic interference) in Haishi Park limestone area in Chongqing were explored to define the variations of litter functional traits and decomposition rates in succession series at the community level and the interaction between them. The results showed that during the course of succession, community characteristics shifted from higher community specific leaf area (*CSLA*), community leaf nitrogen content (*CLNC*) and community leaf phosphorus content (*CLPC*) and from lower community leaf dry matter content (*CLDMC*) to their opposite. After decomposition for 160 days, the litter decomposition rate of the main woody plants in the 20-year secondary forest was the largest while that in the 50-year secondary forest was the lowest. Besides, there were fairly close correlations between litter decomposition and *LDMC* at both the species and the community levels and *CLPC* also showed a good prediction ability in litter decomposition at the community level. Consequently, *LDMC* appeared to be a powerful marker of litter decomposition at the species and the community levels, and the relationship between litter traits and decomposition at the community level can reflect the environment conditions, plant growth and the change of ecosystem processes in the community.

Key words: limestone area; succession; functional traits; litter decomposition

