

喀斯特森林植被自然恢复中凋落物现存量 及其碳库特征演化

黄宗胜^{1,2}, 符裕红¹, 喻理飞^{1*}

(1. 贵州大学林学院, 贵州 贵阳 550025; 2. 贵州大学土木建筑工程学院, 贵州 贵阳 550025)

摘要:采用空间代替时间的方法,研究了茂兰退化喀斯特森林自然恢复中凋落物现存量及其碳库特征。结果表明:随群落恢复凋落物现存量呈减少趋势,早期减幅大,中后期减幅小;随群落恢复凋落物现存量演化受地貌因子、群落生活史、土壤微生物的影响较大,受水热条件的影响较小;凋落物现存量生物量与其分解失重率、表层土壤微生物量碳有较强的负相关关系;凋落物分解失重率与表层土壤微生物量碳呈极强的正相关关系;随群落恢复凋落物现存量含碳率变化不显著,凋落物现存量碳密度变化规律与凋落物现存量变化规律一致,单位面积凋落物碳储量表现为碳源效应,且早期碳源效应较强、固碳能力不稳定,中后期碳源效应较弱、固碳能力稳定;凋落物碳密度(Y)与其现存量生物量(x)的关系: $Y = b_0 + b_1x$ (b_0, b_1 为常数)。

关键词:凋落物现存量;凋落物现存量碳库特征;自然恢复;喀斯特森林
中图分类号:S718.54 文献标识码:A

Evolution of Litterfall Accumulation and the Characteristics of Its Carbon Pool in the Process of Natural Restoration of Karst Forest Vegetation

HUANG Zong-sheng^{1,2}, FU Yu-hong¹, YU Li-fei¹

(1. Forestry College of Guizhou University, Guiyang 550025, Guizhou, China;

2. Civil Engineering and Architecture College of Guizhou University, Guiyang 550025, Guizhou, China)

Abstract: Using the method of taking space instead of time, the evolution of litterfall accumulation and the characteristics of its carbon pool in the process of natural restoration of karst forest vegetation was studied in the Maolan National Nature Reserve of Guizhou. The results are as follows: the litterfall accumulation reduced in the process of natural restoration, and the changes of litterfall accumulation decreased quickly in the early stages, but slowly in the middle and late stages. The litterfall accumulation was affected deeply by geomorphologic factors, life cycle of community and soil microorganism in the process of natural restoration. By contrast, the water and heat conditions had little influence to the litterfall accumulation. The litter accumulation had a strong negative correlation with the lost weight rate and the soil surface microbial biomass carbon. There was a strong positive correlation between the lost weight rate and the soil surface microbial biomass carbon. The litter accumulation carbon content rate had no difference among all stages. The litterfall accumulation carbon density followed the same evolution law with the litterfall accumulation as the positive succession developed. The litterfall accumulation played a role as a sink of atmospheric carbon dioxide along the natural restoration, and the characters of litterfall accumulation carbon pool varied from strong carbon source effect and instable carbon sequestration capacity in the early stage to little carbon source effect

收稿日期: 2012-04-15

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2011BAC02B02, 2011BAC09B01)、“211工程”三期重点学科建设项目(Kst200904)和贵州省社会发展攻关项目(黔科合SY(2012)3012)资助

作者简介: 黄宗胜(1973—),男,副教授,博士研究生,研究方向为退化生态系统恢复、景观规划设计。E-mail: hzsjh@126.com.

* 通讯作者: 喻理飞(1963—),男,教授,博士生导师,主要从事喀斯特退化生态系统恢复研究。E-mail: gdyulifei@163.com.

and stable carbon sequestration capacity in the middle and late stages. The relation equation between the litterfall carbon density (Y) and the exist litterfall accumulation (x) are: $Y = b_0 + b_1x$ (b_0 and b_1 are constant). It plays an important role in observing litterfall carbon density in the research region. So it is necessary to enhance the protection of karst forest vegetation, which would be beneficial for the forest succession, create good condition for litterfall accumulation organic carbon being turned into soil organic carbon, and enhance the stability of forest ecosystems.

Key words: litterfall accumulation; characteristics of litterfall accumulation carbon pool; natural restoration; karst forest

森林凋落物是森林生态系统内由生物组分产生的并归还到林地表面,作为分解者的物质和能量的来源,借以维持生态系统功能的所有有机物质的总称^[1],对森林矿物质营养元素的循环、土壤形成和森林演替过程等有深刻的影响^[2]。森林凋落物作为森林生态系统碳循环的重要环节,是森林生态学、森林水文学、森林土壤学等学科研究的重要内容之一^[3]。近年来随着全球气候变暖,许多学者对森林凋落物在碳循环、营养元素循环中的作用^[4]及其与气候变暖的互作效应等方面开展了大量研究^[5-6]。在喀斯特区,学者们对凋落物量动态^[2,7]、凋落物持水性能^[8-9]、凋落物 C:N:P 生态化学计量特征^[10]、人工林凋落物特性及对土壤的生态功能^[11]等方面开展了研究,但对喀斯特森林植被自然恢复中凋落物现存量及其碳库特征演化的研究鲜有报道。本文以喀斯特森林植被自然恢复中的6个典型阶段群落凋落物现存量为研究对象,研究了凋落物现存量随群落恢复的变化及其主要影响因子、凋落物现存量含碳率与碳密度随群落恢复的变化、碳密度与生物量的关系等指标,旨在揭示喀斯特森林植被自然恢复中凋落物现存量及其碳库特征的演化,为喀斯特森林自然恢复中的碳循环、碳的汇源评价、喀斯特森林景观恢复和生态重建、石漠化治理等提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

本研究在贵州茂兰国家级自然保护区(25°09'~25°20' N, 107°52'~108°05' E)内进行。该保护区面积 212.85 km²,森林覆盖率达 87.3%,地势西北高东南低,最高海拔 1 078.6 m,最低海拔为 430 m,平均海拔在 550~850 m 之间,山峰与洼地相对高差为 150~300 m。属中亚热带南部季风湿润气候,年均温 18.30℃,≥10℃积温 5 767.9℃,年降水量 1 320.5 mm,年均相对湿度 80%,全年日照时数 1 272.8 h。属裸露型喀斯特地貌。土壤以黑色石灰土为主,上层浅薄且不连续,剖面多为腐殖

质-淋溶-母岩层(AF-D)构型、腐殖质-母岩层(A-D)构型,地表水缺乏,土体持水量较低,土壤富钙和富盐基化,pH 值 6.15~8.00,有机质含量 75.5~380 g·kg⁻¹。多数地段为中亚热带原生性喀斯特森林,为常绿落叶阔叶混交林,也有不同退化程度的演替群落,现统计有维管束植物 154 科 514 属 1 203 种,对喀斯特森林植被自然恢复的研究有很强的代表性^[12]。

1.2 研究方法

1.2.1 样地选择及依据 本研究区退化群落自然恢复过程分为草本阶段(25°16'13" N, 108°01'22" E)、草灌阶段(25°16'14" N, 108°01'26" E)、灌丛灌木阶段(25°18'21" N, 107°56'21" E)、灌乔阶段(25°18'20" N, 107°56'23" E)、乔木阶段(25°17'37" N, 107°56'39" E)和顶极阶段(25°12'35" N, 107°59'55" E)6个恢复阶段^[13-15]。分别于各阶段设置典型样地,样地面积为 30 m×30 m,4个重复,共计 24 块。各恢复阶段样地土壤类型为石灰土。样地的基本情况见表 1。

1.2.2 凋落物及土壤样品收集与处理 于 2011 年 3 月下旬用厚 1 mm、宽 10 cm 的薄铁皮长条制成面积为 1.0 m² 的正方形取样框,分别在每个样地中随机选取 30 个小样方进行凋落物现存量取样,取样时正方形取样框放置水平,对正方形取样框内的凋落物现存量进行收集。按未分解、半分解(叶无完整外观轮廓,多数凋落物已经粉碎)和完全分解(已不能辩识原形)3 层收集凋落物,分别装入塑料袋中,并同时测定各层厚度。未分解层凋落物分叶、枝(皮)、花(果)、苔藓地衣、倒木(草)、枯立木(草)及其他(虫类粪便、残体和不可辨识的植物残体等)。凋落物收集好后将其进行编号并立即称量、记录其鲜质量,带回实验室后将其分别放置在恒温为 80℃ 的烘箱中烘干至恒质量,并记录其质量,推算出样地凋落物现存量,并取若干烘干样品用于碳含量的测定^[16-17]。土壤采用 S 型五点混合采样法^[18],采集 0~10 cm 土层土壤。

表1 各恢复阶段群落的基本概况^[13-15]

恢复阶段	坡度/(°)	海拔/m	坡向	植被特征	优势种	岩石裸露率/%	生境
C	30~40	840	NW	群落层次只有草本层,高约1 m,盖度达80%以上,有极少数先锋树种,群落下覆盖有3~6 cm 枯枝落叶层。	密毛蕨、白茅、金丝草、三毛草	77.52	土面、石缝、石沟
CG	30~40	820	SW	群落层次一层,由草本和灌木共同组成,盖度达80%以上,草本、灌木盖度约各占一半,高度1.5~2 m,地表有少量藤刺,群落下覆盖有2~5 cm 枯枝落叶层。	盐肤木、野牡丹、腊莲绣球、算盘子、密毛蕨、白茅、金丝草	75.61	土面、石缝、石沟
G	30~40	820	SW	林分垂直结构简单,无或有少量乔木,主要以灌木层为主,高度2~4 m,覆盖度达80%以上,地表有较多藤刺,林下覆盖的枯枝落叶层约2~4 cm。	火棘、南天竹、香叶树、齿叶铁仔、齿叶黄皮、榔榆	73.22	石面、石缝、土面、石沟
GQ	30~40	820	SW	林分层次结构分化,高7~12 m,木本植物盖度达80%以上;林下草本盖度较低,地表有较多藤刺,林下枯枝落叶层厚1~3 cm。	圆果化香、香叶树、天鵝槭、鸡仔木、川钓樟、青冈栎	73.94	石面、石缝、土面、石沟
Q	30~40	840	SW	林分层次结构分化明显,乔木层、灌木层比较发达,高14~18 m,乔木层覆盖度达80%以上;灌木层高2~3 m,盖度10%左右,地表有少量藤刺、蕨类、地衣苔藓等分布,林下枯枝落叶层厚1~3 cm。	光皮柞木、黔桂润楠、香叶树、翅荚香槐、南酸枣、短萼海桐	72.81	土面、石面、石缝、石沟
D	30~40	850	SW	乔木层、灌木层和草本层植物之间分化清晰,以乔木林为主,高15~20 m,乔木层覆盖率达80%以上;灌木层高4~7 m,盖度10%~20%;林下覆盖有1~3 cm 枯枝落叶层。	光皮柞木、短萼海桐、多脉青冈栎、天鵝槭、云贵鹅耳枥、粗柄楠	71.20	石面、石缝、土面、石沟

注:C:草本阶段;CG:草灌阶段;G:灌木阶段;GQ:灌乔阶段;Q:乔木阶段;D:顶极阶段,下同。密毛蕨 *Pteridium revolutum* (Bl.) Nakai、白茅 *Imperata cylindrical* var. *major* (Nees) C. E. Hubb.、金丝草 *Pogonatherum crinitum* (Thunb.) Kunth、三毛草 *Trisetum bifidum* (Thunb.) Ohwi、盐肤木 *Rhus chinensis* Mill.、野牡丹 *Melastoma candidum* D. Don、腊莲绣球 *Hydrangea strigosa* Rehd.、算盘子 *Glochidion puberum* (Linn.) Hutch.、火棘 *Pyracantha fortuneana* (Maxim.) L.、南天竹 *Nandina domestica* Thunb.、香叶树 *Lindera communis* Hemsl.、齿叶铁仔 *Myrsine semiserrata* Wall.、齿叶黄皮 *Clausena dunniiana* Levl.、榔榆 *Ulmus parvifolia* Jacq.、圆果化香 *Platycarya longipes* Wu、天鵝槭 *Acer wangchii* Fang、鸡仔木 *Sinoadina racemosa* (Sieb. et Zucc.) Ridsd.、川钓樟 *Lindera pulcherima* var. *hemsleyana* (Diels) H. P. Tsui、青冈栎 *Cyclobalanopsis glauca* (thunb.) Oerst.、光皮柞木 *Cornus wilsoniana* Wanger.、黔桂润楠 *Machilus chienkueiensis* S. Lee、翅荚香槐 *Cladrastis platycarpa* (Maxim.) Makino、南酸枣 *Choerospondias axillaris* (Roxb.) Burt et Hill、短萼海桐 *Pittosporum brevicalyx* (Oliv.) Gagnep.、多脉青冈栎 *Cyclobalanopsis multinervis* Cheng et T. Hong、云贵鹅耳枥 *Carpinus pubescens* Burkil、粗柄楠 *Phoebe crassipedicellata* S. Lee et F. N. Wei

1.2.3 指标测定及计算 对凋落物含碳率的测定采用 $K_2Cr_2O_7$ -外加热法^[17],各阶段凋落物采用4个重复,每个重复中取30个 $1.0 m^2$ 的小样方中的样品;碳密度=单位面积凋落物现存量×凋落物含碳率,即碳密度为由各小样方推算出的单位面积凋落物现存量与实测相应小样方样品凋落物含碳率平均值之积^[16,19];土壤微生物量碳采用氯仿熏蒸浸提法^[20]:称取相当于烘干土质量20 g 湿土进行氯仿熏蒸处理,熏蒸后用 $0.5 mol \cdot L^{-1} K_2SO_4$ 浸提,过滤后用 $K_2Cr_2O_7-H_2SO_4$ 外加热氧化,然后用 $FeSO_4$ 来滴定;凋落物现存量分解采用分解袋法^[17]:分解袋孔径为1 mm,规格为 $25 cm \times 20 cm$,自然风干样品质

量为10 g,将装有样品的分解袋随机放置在各个样地内经过清除枯枝落叶的林内地表,使样品直接与土壤腐殖质层接触;阿斯曼通风干湿表测定地表气温;凋落物自然含水率=(凋落物鲜质量-凋落物烘干质量)/凋落物烘干质量×100%。

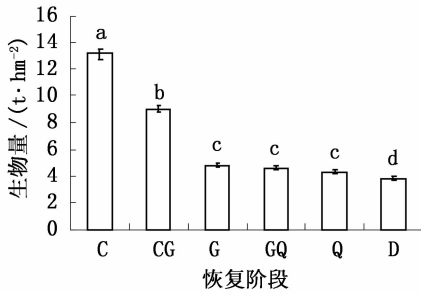
1.3 数据处理

所有数据采用 SPSS17.0 软件进行分析。采用单因素方差分析和最小显著差异法比较不同数据组间的差异;用 Pearson 相关系数评价不同因子间的相关关系;显著性水平设定为 $\alpha = 0.05$ 。群落凋落物现存量与碳密度之间的关系采用一元线性回归分析。

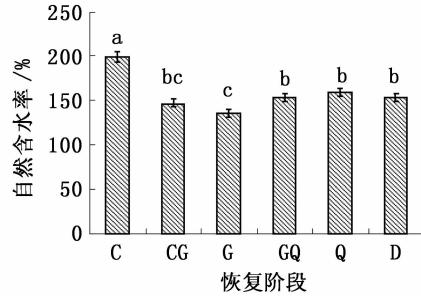
2 结果与分析

2.1 随群落恢复凋落物现存量、自然含水率变化

图1表明:①退化群落恢复早期阶段凋落物现存量最高,特别是草本阶段达 $13.16 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,草灌阶段 $9.01 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,至中期灌木阶段 $4.79 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 明显下降,灌木阶段之后灌乔阶段 $4.6 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、乔木阶段 $4.32 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 直到后期顶极阶段 $3.83 \text{ t} \cdot$



hm^{-2} ,呈相对稳定且略有下降趋势,表现出随退化植被的恢复,群落凋落物现存量逐渐减少。②凋落物自然含水率从草本阶段(198.81%)到灌木阶段(135.50%)先下降,后由灌木阶段到顶极阶段缓慢增长,灌木阶段的自然含水率最低。方差分析显示,除草本阶段外,其它阶段相互间凋落物自然含水率差异不显著。



不同小写字母表示差异显著

图1 不同恢复阶段凋落物现存量生物量、自然含水率变化

2.2 随群落恢复凋落物现存量与其分解失重率、表层土壤微生物量碳的相关关系

表2表明:凋落物现存量生物量与其分解失重率、表层(0~10 cm)土壤微生物量碳有较强的负相关关系;凋落物分解失重率与表层土壤微生物量碳呈极强的正相关关系。表明随群落恢复土壤微生物活动越来越强烈、被分解的凋落物越来越多、凋落物现存量越来越少。

表2 凋落物现存量生物量与其失重率、表层土壤微生物量碳的相关关系

项目	LA	LWR	MBC
LA	1		
LWR	-0.842*	1	
MBC	-0.879*	0.965**	1

*0.05 水平显著; **0.01 水平显著; LA:凋落物现存量生物量; LWR:失重率; MBC:微生物量碳。

2.3 随群落恢复凋落物含碳率、碳密度变化

表3 不同恢复阶段群落凋落物含碳率、碳密度

恢复阶段	含碳率		碳密度/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	
	均值	标准差	均值	标准差
C	0.377 8a	0.017 0	4 972.19a	85.70
CG	0.380 4a	0.014 0	3 428.09b	52.77
G	0.377 9a	0.011 0	1 811.44c	34.57
GQ	0.398 0a	0.020 0	1 880.55d	73.74
Q	0.379 6a	0.015 2	1 639.87e	36.19
D	0.399 3a	0.018 5	1 527.32f	48.79

主效应检验($P < 0.000$); 变量:恢复阶段; 因变量:碳密度; $R^2 = 0.671$, 同列不同小写字母表示差异显著。

表3可知:凋落物现存量含碳率随群落恢复略有增长,但差异不显著,反映了凋落物含碳率对凋落物现存量碳库随群落恢复的变化影响不大;随群落恢复,凋落物现存量碳密度呈下降趋势,单位面积表现出碳源效应,特别是早期的草本到灌木阶段,碳密度下降幅度大,反映出恢复早期凋落物固碳能力不稳定、单位面积碳源效应强,中后期碳密度下降幅度小,反映出中后期凋落物固碳能力稳定、单位面积碳源效应弱;本研究选择单因变量单因素方差分析模型,即以恢复阶段为影响因素,碳密度为因变量,进行单因变量单因素方差分析,由 $P < 0.000$ 可知恢复阶段对碳密度影响显著,其中 $R^2 = 0.671$,这说明该模型具有较好的解释能力,调整 $R^2 = 0.658$,说明模型拟合较好,表明不同恢复阶段(植被类型)是影响喀斯特森林植被自然恢复中凋落物碳密度的主要因子。

2.4 群落凋落物现存量与碳密度之间的关系

表4 凋落物碳密度(Y)与凋落物现存量(x)的关系方程

恢复阶段	方程	R	P
C	$Y = 85.366 + 0.306x$	0.962	<0.001
CG	$Y = -16.763 + 0.400x$	0.980	<0.001
G	$Y = -4.624 + 0.388x$	0.988	<0.001
GQ	$Y = -8.980 + 0.420x$	0.968	<0.001
Q	$Y = 0.968 + 0.378x$	0.981	<0.001
D	$Y = -0.801 + 0.401x$	0.978	<0.001

表4可得:凋落物碳密度(Y)与凋落物现存量(x)的关系按照一元线性方程变化,且二者之间的

理论值很好地拟合了实测结果,相关系数(R)大于 0.960,达到极显著相关水平($P < 0.001$)。因此凋落物碳密度(Y)与凋落物现存量(x)的关系可以用表 5 中的线性方程加以表达,统一表达式为: $Y = b_0 + b_1x$,其中 b_0 与 b_1 为常数。体现了喀斯特森林植被凋落物现存量与碳密度的关系特征,也表明了该区域凋落物碳密度受凋落物现存量的影响显著,而受凋落物含碳率的影响则较小。对估测研究区各恢复阶段凋落物碳密度具有重要的现实意义。

3 结论与讨论

3.1 地貌因素、群落生活史对凋落物现存量演化的影响

(1)与常态地貌比较 本研究灌乔、乔木、顶极阶段凋落物现存量分别为 $4.62 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $4.32 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $3.83 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,比周国逸等^[21]研究的亚热带常态地貌鼎湖山($23^{\circ}09'21'' \sim 23^{\circ}11'30'' \text{ N}$, $112^{\circ}30'39'' \sim 112^{\circ}33'41'' \text{ E}$)季风常绿阔叶林恢复演替系列马尾松林($8.72 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)、针阔叶混交林($9.94 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)、季风常绿阔叶林($6.56 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)要低,比张庆费等^[22]研究的中亚热带北缘常态地貌天童山($29^{\circ}48' \text{ N}$, $121^{\circ}47' \text{ E}$)季风常绿阔叶林演替系列马尾松林($11.52 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)、马尾松木荷林($10.44 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)、木荷林($10.27 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)、栲树木荷林($10.37 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)、栲树林($10.45 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)的凋落物现存量要低很多,本研究区凋落物现存量与上述一南一北两常态地貌都要小,不符合随纬度增大凋落物现存量增加的规律^[21],反映了非地带性因素对凋落物现存量的影响,尤其是喀斯特地貌因素的影响,但在恢复后期天童山马尾松木荷林到顶极栲林之间凋落物现存量变化缓慢且趋于平稳,其分解率(马尾松木荷林 0.35、木荷林 0.44、栲树木荷林 0.47、栲树林 0.49)变化平稳也表明了这一点,这与本研究中后期凋落物现存量变化缓慢且趋于平稳的结论相似。因此,随群落恢复凋落物现存量演化规律与常态地貌基本一致,但相应恢复阶段喀斯特区数值要小。

(2)与不同生境的相同地貌比较 本研究灌木、灌乔、顶极阶段凋落物现存量分别为 $4.79 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $4.62 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $3.83 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,与朱双燕等^[23]研究的广西环江喀斯特生态系统研究观测站($108^{\circ}18'56.9'' \sim 108^{\circ}19'58.4'' \text{ E}$, $24^{\circ}43'58.9'' \sim 24^{\circ}44'48.8'' \text{ N}$)灌丛($4.07 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)、藤刺灌丛($3.41 \text{ t} \cdot$

hm^{-2})、乔灌丛($4.76 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)、木伦自然保护区顶极群落($6.28 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)凋落物现存量相比,茂兰灌木阶段凋落物现存量要大、乔灌阶段约相当、顶极阶段要小,因纬度相差不大,故纬度性影响较小。对比样地基本情况发现茂兰各恢复阶段的样地背景基本一致,尤其是盖度基本在 80% 以上且变化不大、岩石裸露率在 75% 上下较小的范围波动,而环江、木伦研究区各阶段样地间背景因素相差较大,尤其是海拔、岩石裸露率、群落盖度等相互之间相差较大。另外茂兰与广西环江、木伦两研究区群落的优势种(气候的干湿性导致,茂兰偏湿、广西偏干)也不相同,这些原因导致了退化喀斯特自然恢复中凋落物现存量随恢复变化规律不一致。反映出喀斯特相同地貌的不同生境对相同恢复阶段凋落物现存量多少有较大影响。

(3)随群落恢复群落生活史对凋落物现存量演化的影响 研究结果与恢复过程中生活型变化有关,早期群落优势种趋于 C-选择生活史式样,通常枯枝落叶层丰富并常持续存在,草多,一年一死,凋落量大,后期树种以 S-选择生活史式样的物种多,通常枯枝落叶层稀少、有时持续存在^[24]。恢复过程中早期以一年生植物和隐芽植物最多,小高位芽植物和中高位芽植物在中期最多,大高位芽植物在后期最多^[15],草本植物其生活史决定了每年凋落物量大,木本植物主要以叶凋落形式凋落,凋落量相对来说少。说明不同生活史式样对凋落物现存量随群落恢复的演化有很大影响。

3.2 随群落恢复水热条件对凋落物现存量演化及其分解率的影响

研究表明凋落物自然含水率从草本到灌木阶段先下降,后由灌木到顶极阶段缓慢增长。实测地表气温为草本阶段 $24.52 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 、草灌阶段 $26.33 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 、灌木阶段 $21.78 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 、灌乔阶段 $22.01 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 、乔林阶段 $20.90 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 和顶极阶段 $20.35 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。一般认为水热条件优越则凋落物分解率高^[25]、现存量少,而本研究早期温度高、含水率高而分解率低、现存量高,现存量与分解失重率呈较强的负相关($r = -0.842, P < 0.05$)。说明水热条件对凋落物现存量演化影响不大。这可能与以下 3 点有关,一是所选样地生境基本一致、气象因子差异不明显、且早期阶段冠层少白天受太阳辐射温度高,晚上无太阳且冠层少,热量散失也快,因而夜间温度并不高,昼夜温差大,相反中后期群落的冠层多,昼夜温差不大;二是草本阶段温度与其它阶

段温度相差并不大,草灌阶段尽管地表温度稍高,但自然含水率并不高(见图1)。有研究指出^[26]微生物最适温度为20~30℃,在此范围内微生物代谢活动高、繁殖快,凋落物分解速度也加快,若温度每降低10℃,则分解速度下降20%~30%。由上可知各阶段凋落物的地表温度都在微生物活动的最适温度范围内,温度对凋落物分解差异的影响应该不大;三是凋落物分解率受水、温度、空气中的O₂和CO₂、土壤理化性质、生物因素等影响,在众多因素中究竟哪些起主导作用还有待进一步深入研究。

3.3 随群落恢复土壤微生物对凋落物现存量演化的影响

凋落物现存量的大小主要由两个因素决定,即与凋落量呈正相关,而与分解速率呈负相关。因此凋落物分解速率大小也是影响凋落物现存量演化的关键因素。有研究表明凋落分解速率的大小与林地水热条件、土壤生物活动以及植被类型有密切的关系^[27-28]。前述所得随群落恢复凋落物现存量大小受林地水热条件的影响较弱、而受植被类型的影响较大。土壤微生物量碳可以表征土壤微生物的活性^[29],土壤微生物量碳含量高则土壤微生物的活性强。本研究得出随群落恢复土壤微生物量碳与凋落物现存量呈极显著的负相关关系,与凋落物分解速率(失重率)呈极显著的正相关关系。说明随群落恢复土壤微生物活性增强、凋落物分解速率增加、凋落物现存量变小。由此表明随群落恢复土壤微生物对凋落物现存量演化影响深刻。

3.4 随群落恢复凋落物碳库的演化特征

凋落物现存量含碳率和碳密度可以表征凋落物碳库的基本特征。研究表明随群落恢复凋落物现存量含碳率差异不显著,但凋落物现存量碳密度呈下降趋势。说明了决定各恢复阶段凋落物现存量碳库大小的关键因素是凋落物现存量的多少,由此也表明影响凋落物现存量演化的因素也影响凋落物现存量碳库的演化。本研究统计得各恢复阶段凋落叶所占的比例在66.6%~77.15%之间,这与俞国松^[30]研究同一区域喀斯特原生林、次生林、灌木林凋落物年凋落量凋落叶所占的比例在64.7%~75.9%之间比较相符合。反映了茂兰喀斯特森林凋落物现存量及其含碳率受叶的影响较大。随群落恢复凋落物碳库演化的过程特征表现为:随群落恢复单位面积凋落物现存量碳表现出碳源效应,且早期凋落物固碳能力不稳定、单位面积碳源效应强,中后期凋落物

固碳能力稳定、单位面积碳源效应弱。反映出恢复早期碳素主要存在于凋落物碳库中,对转化为土壤有机碳的潜力大,中后期凋落物碳库储存的碳素少,可转化量小,也即随群落恢复,生态系统碳循环在碳素以凋落物有机碳素形态向土壤有机碳素形态转化这一环节上功能变得越来越完善,且最后趋于平稳。

3.5 凋落物现存量与碳密度之间的关系表达

本研究建立了凋落物现存生物量碳密度(Y)与凋落物现存生物量(x)的关系方程:二者的关系按照一元线性方程变化,其统一的表达式为: $Y = b_0 + b_1x$,其中 b_0 与 b_1 为常数。

参考文献:

- [1] 王凤友. 森林凋落物量研究综述[J]. 生态学进展, 1989, 6(2): 82-98
- [2] 魏鲁明, 余登利, 陈正仁. 茂兰喀斯特森林凋落物量的动态研究[J]. 南京林业大学学报, 2009, 33(3): 31-34
- [3] 吴承祯, 洪伟, 姜志林, 等. 我国森林凋落物研究进展[J]. 江西农业大学学报, 2000, 22(3): 405-410
- [4] 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素[J]. 生态学报, 2007, 27(5): 2126-2135
- [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): 1535-1546
- [6] 宋新章, 江洪, 张慧玲, 等. 全球环境变化对森林凋落物分解的影响[J]. 生态学报, 2008, 28(9): 4414-4423
- [7] 俞国松, 王世杰, 容丽, 等. 茂兰喀斯特森林主要演替群落的凋落物动态[J]. 植物生态学报, 2011, 35(10): 1019-1028
- [8] 曾昭霞, 刘孝利, 王克林, 等. 桂西北喀斯特区原生林与次生林凋落物储量及持水特性[J]. 生态学杂志, 2011, 30(7): 1429-1434
- [9] 冉景丞, 何师意, 曹建华, 等. 亚热带喀斯特森林的水土保持效益研究——以贵州茂兰国家级自然保护区为例[J]. 水土保持学报, 2002, 16(5): 92-95
- [10] 潘复静, 张伟, 王克林, 等. 典型喀斯特峰丛洼地植被群落凋落物C:N:P生态化学计量特征[J]. 生态学报, 2011, 31(2): 0335-0343
- [11] 姚健. 喀斯特人工林凋落物特性及对土壤生态功能影响[D]. 南京: 南京林业大学, 2011
- [12] 周政贤. 茂兰喀斯特森林科学考察集[M]. 贵阳: 贵州人民出版社, 1987: 1-23
- [13] 喻理飞, 朱守谦, 魏价明, 等. 退化喀斯特群落自然恢复过程研究——自然恢复演替系列[J]. 山地农业生物学报, 1998, 17(2): 71-77
- [14] 喻理飞, 朱守谦, 叶镜中, 等. 退化喀斯特森林自然恢复评价研究[J]. 林业科学, 2000, 36(6): 12-19
- [15] 安明志. 茂兰喀斯特植被恢复过程群落结构与健康评价[D]. 贵州: 贵州大学, 2008
- [16] 郑路, 伊克林, 胡秀群, 等. 克拉玛依不同配置模式防护绿地凋落物现存量及养分贮量[J]. 林业科学, 2011, 47(4): 13-19

- [17] 董 鸣. 陆地生物群落调查观测与分析[M]. 北京: 中国标准出版社, 1996
- [18] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999
- [19] Brown S, Pearson T. Methods Manual for Measuring Terrestrial Carbon[M]. Winrock International, 2005
- [20] 中国科学院南京土壤研究所微生物室. 土壤微生物研究法[M]. 北京: 科学出版社, 1985
- [21] 周国逸, 周存宇, Liu Shuguang, 等. 季风常绿阔叶林恢复演替系列地下部分碳平衡及累积速率[J]. 中国科学 D 辑地球科学, 2005, 35(6): 502 - 510
- [22] 张庆费, 徐绒娣. 浙江天童常绿阔叶林演替过程的凋落物现存量[J]. 生态学杂志, 1999, 18(2): 17 - 21
- [23] 朱双燕, 王克林, 曾馥平, 等. 广西喀斯特次生林地表碳库和养分库特征及季节动态[J]. 水土保持学报, 2009, 23(5): 237 - 242
- [24] 李 博. 生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 79 - 82
- [25] 屠梦照, 姚文华, 翁 轰, 等. 鼎湖山亚热带常绿阔叶林凋落物的特征[J]. 土壤学报, 1993, 30(1): 34 - 41
- [26] 程东升. 森林微生物生态学[M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1993: 65 - 185
- [27] Berg B, Berg M P, Bottner P. Litter mass loss rate in pine forest of Europe and Eastern United States some relationships with climate and litter quality[J]. Biogeochemistry, 1993, 20: 127 - 159
- [28] Mc Clagherty C A, Pastor J, Aber J D. Forest litter decomposition in relation to soil nitrogen dynamics and litter quality[J]. Ecology, 1985, 66: 266 - 275
- [29] 沈 宏, 曹志洪, 胡正义. 土壤活性有机碳的表征及其生态效应[J]. 生态学杂志, 1999, 18(3): 32 - 38
- [30] 俞国松. 茂兰喀斯特森林演替过程中的凋落物及其分解动态研究[D]. 贵阳: 中国科学院地球化学研究所, 2011

《中国荒漠植物图鉴》已经出版

由卢琦、王继和、褚建民主编的《中国荒漠植物图鉴》于 2012 年 10 月在中国林业出版社出版发行。

《中国荒漠植物图鉴》收集了典型荒漠植物 610 种(含 12 变种), 其中蕨类植物 2 种, 裸子植物 10 种 1 变种, 单子叶植物 55 种 3 变种, 双子叶植物 531 种 8 变种, 隶属 76 科 291 属, 基本涵盖了我国荒漠区的主要维管束植物。书中通过简练的文字对每种植物的形态特征、分布、生境和利用价值等进行描述; 利用彩图对群落生境、单株枝、叶、花、果、种子的形态特征等进行全方位展示; 并查阅了大量历史资料和多年野外实地调查, 对每一种植物绘制了地理分布图。

本书是在国家科技基础性工作专项及中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目有关子项目支持下, 由中国林业科学研究院、甘肃省治沙研究所以及中国科学院植物研究所等长期从事沙漠科研工作的科技人员完成。

本书集实用性、知识性、科普性于一体, 是对《中国沙漠植物志》和《中国高等植物图鉴》的重要补充。可供从事荒漠植物研究、教学、生产、经营管理以及相关工作人员使用, 或作为科研机构、大专院校专业人员的参考用书, 也可作为中国北方地区农、林、牧业科技工作者的工具书。