

岩溶生态系统中不同植被枯落物对土壤理化性质的影响及岩溶效应

邓 艳¹,蒋忠诚¹,覃星铭^{1,2},祁晓凡^{1,3},蓝芙蓉¹,吴华英^{1,3}

(1. 中国地质科学院岩溶地质研究所,广西 桂林 541004;2. 广西师范大学生命科学学院,广西 桂林 541004;
3. 中国地质大学(武汉)环境学院,湖北 武汉 430074)

摘要:对广西弄拉岩溶生态系统中60a成熟林、20a乔幼林和10a灌丛的枯落物、土壤理化性质和岩溶效应进行了研究。研究表明:(1)成熟林、乔幼林和灌丛凋落物储量分别为18.4、16.9、1.9 t/hm²,通过凋落物归还土壤的营养元素(N、P、K、Ca、Mg、Si、Al、Fe、Zn、Cu、Na、Mn)的年归还总量依次为:乔幼林(4.657 t/hm²)>成熟林(4.068 t/hm²)>灌丛(0.193 t/hm²)。弄拉成熟林的枯落物储量是灌丛的10倍,枯落物12种元素的归还量是其21倍。(2)成熟林枯落物有效拦蓄量是灌丛的11倍,保障了土壤的持水能力。(3)随着土壤的加深,枯落物对其影响减弱。深层土壤的理化性质主要受母岩的影响,化学性质比较稳定,而表层土受枯落物和植被影响大,枯落物的储量、分解程度和组分等控制着表层土有机质、有效N/P/K、有效锰、有效锌等有效态的含量,对元素的全量分布影响不大,影响土壤元素全量空间分布的因素主要是母岩。枯落物可以促进碳酸盐岩的成土速率。植被的发育程度越高,其涵养的表层岩溶泉的溶质含量越多。枯落物的存在增加了水在表层岩溶动力系统中的滞留时间,同时给岩溶生态系统注入更多的有机质和CO₂,加速表层岩溶动力系统的运行。

关键词:岩溶生态系统;枯落物;土壤理化性质;表层岩溶泉;岩溶效应

文章编号:1000-0933(2009)06-3307-09 中图分类号:Q142,Q948 文献标识码:A

Impacts of litter on physical and chemical soil properties and its karst effects on different forested Karst ecosystem

DENG Yan¹, JIANG Zhong-Cheng¹, QIN Xing-Ming^{1,2}, QI Xiao-Fan^{1,3}, LAN Fu-Ning¹, WU Hua-Ying^{1,3}

1 Institute of Karst Geology, CAGS, Guilin 541004, China

2 College of Life Science, Guangxi Normal University, Guilin 541004, China

3 School of Environmental Studies, China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(6):3307~3315.

Abstract: In forested karst ecosystems, the effects of litter on soil properties are not fully understood. We conducted a study in 60 years old mature forest(S1), 20 years old earlier arbor forest(S2) and 10 years old shrub(S3) in the Nongla karst ecosystem of Guangxi, China. Physical and chemical properties of Litter and soil were examined to understand the effects of litter on soil properties. Our data showed that the reserves of litters in S1, S2 and S3 were 18.4、16.9、1.9 t/hm², respectively. The total annual amounts of nutrient elements((N、P、K、Ca、Mg、Si、Al、Fe、Zn、Cu、Na and Mn) returning to soil from the litters at S1, S2 and S3 were 4.657, 4.068 t/hm² and 0.193 t/hm², respectively. The reserves of litters at S1 were ten times greater than that at S3. The effective water holding depth of litter layer at S1 were 11 times greater than that of S3, enhancing the eco-hydrological function of forest soil. Properties of deeper soils are less influenced by litter than shallower ones. Properties of deeper soils are more influenced by the rock, while the upper soils are more influenced by plants and litter. Nutrient behavior in the upper soil, including contents of organic matter, available N/P/K, were controlled

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40572151);国家“十一五”科技支撑计划课题资助项目(2006BAC01A10);中国地质科学院岩溶地质研究所资助项目(200708和2008009);广西重点实验室建设资助项目(桂科能0842008)

收稿日期:2008-08-05; **修订日期:**2008-12-19

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: dydesk@mail.karst.ac.cn,

by the reserves, content and decomposition of litters. Litter can speed up the formation of limestone soil in karst area. Litter can improve water storage in the epikarst dynamic system. At the same time, it can imputes more organic matter and CO₂ to the karst ecosystem, accelerating its evolution.

Key Words: karst ecosystem; litter; soil physical and chemical properties; epikarst spring; karst effect

岩溶生态系统是受岩溶环境制约的生态系统^[1~3],石灰土土层薄,风化成土速率慢,土壤侵蚀速率快,有机碳易于积累,营养元素供给速率慢等特征是碳酸盐岩背景下的石灰土特征^[4]。石灰土的形成和演化受岩性、植被、气候等综合条件的影响。岩溶生态系统中土壤的理化性质已有较深入的研究^[4~6],但对不同岩溶环境下,尤其是枯落物对石灰土某些理化性质形成的内在机制及土壤质量的研究还比较少。枯落物层是指由林木及林下植被凋落下来的茎、叶、枝条、花、果实、树皮和枯死的植物残体所形成一层地面覆盖层。枯落物处于植被层与土壤层之间,是土壤和林木间物质交换的中间环节,直接影响土壤理化性质及其现代成土过程^[7]。

本文以广西弄拉岩溶生态系统为例,对不同植被条件下枯落物持水性能、营养元素储量,土壤理化性质以及土壤质量进行了研究,阐述枯落物对石灰土成土过程的影响,为我国西南岩溶区石漠化生态重建治理中的石灰土改良、开发和保护提供理论依据。

1 研究区概况和方法

1.1 研究区概况

弄拉位于广西南宁地区马山县的东南部,距县城约25km,地理坐标为东经108°19'E,北纬23°29'N。典型的峰丛洼地地貌,亚热带季风气候,高温多雨、降雨集中、湿度大。年平均气温19.84℃,年降雨量为1700mm,4~10月份雨量占年降雨量的82%,年均相对湿度85%。主要岩性为泥盆系东岗岭组中段(D₂d²)。棕色石灰土,土层平均厚度0.5m,岩石裸露率高。研究区自20世纪60~70年代封山育林,植被恢复良好(表1,表2)^[8,9]。

(1) 成熟林(S1) 封山60a形成的常绿阔叶林群落,群落高度16m,盖度95%,郁闭度约0.92,以青冈(*Cyclobalanopsis glauca*)占优势,胸径可达34cm,最大基径达50cm余。受一定的人为干扰,林下灌木较少(40%),草本也较少(35%)。枯落物厚度可达10cm,土壤盖度约20%。

(2) 乔幼林(S2) 封山20a的常绿阔叶林,群落盖度95%;乔木层以黄杞(*Engelhardtia roxburghiana*)为优势,郁闭度0.85左右;灌层以紫凌木(*Decaspermum esquiorlii*(Levl.) Chang)为优势种,灌层盖度25%;草本层盖度15%。地表枯落物厚约4cm,土壤盖度约30%,土壤较致密。

表1 标准地概况^[8]

Table 1 The environmental factors of study sites^[8]

项目 Items	岩性 Rock	土壤 Soil	海拔(m) Elevation	坡位 Slope place	坡向 Slope direction	恢复时间(a) Recover time
成熟林 Matrue forest(S1)	灰岩	棕色石灰土	522	中坡	SE70°	60~70
乔幼林 Earlier arbor forest(S2)	白云岩	棕色石灰土	523	中坡	南	20
灌丛 Shrub(S3)	白云岩	棕色石灰土	459	中下坡	北	10

表2 弄拉典型深层土壤主要化学组分的相对含量(%)^[9]

Table 2 Soil chemistry of a typical soil profile in Nongla

土壤层 Soil layer	深度(cm) Depth	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TN	Org. C	pH
C	80~110	2.07	1.67	0.64	29.47	22.04	0.09	0.03	0.03	0.10	10.44

(3) 灌丛(S3) 弃荒10a后形成的群落,群落高度2.8m,盖度86%;灌木以黄荆(*Vitex negundo*),老虎刺(*Pterolobium punctatum*)为主;草本层的肾蕨(*Nephrolepis condifolia*(L.) Presl)盖度达80%,土壤较疏松,枯落

物厚约1cm。

1.2 研究方法

(1) 枯落物蓄积量测定 在每个样地中机械布设 $1m \times 1m$ 的样方各2个,调查枯落物的厚度、盖度、分布状况以及分解程度,按未分解层、半分解层和已分解层分别取样,取部分烘(95℃)至恒重,称重,计算其单位蓄积量。

(2) 枯落物持水性能测定 用浸泡法测定林下枯落物的持水性能。取未分解层、半分解层和已分解层实验样品,称重后分别装入尼龙袋,测定浸入清水后0.25、0.5、1、2、4、15、24h后重量变化。测定枯落物不同层次的吸水速度及吸水率^[10]。

(3) 取样 将枯落物混合,测定全氮、全磷、全钾、有效N/P/K、全钙、全镁、全铁和全钠等含量。

(4) 土壤水分物理性质 每隔20cm取土,用环刀法测定土壤水分物理性质:容重、最大持水量、毛管持水量、最小持水量、非毛管孔隙度、毛管孔隙度、总孔隙度。

(5) 土壤养分测定 每隔20cm取土,测定土壤的pH、有机质、有机碳、Ca、Mg等含量。

(6) 表层岩溶泉化学成分测定 取样,测定其pH、Ca、Mg、有机碳等含量。

2 结果和分析

2.1 不同植物群落枯落物的元素储量

枯落物储量(现存量)的测定结果见表3。本地区枯落物储量为 $1.84 \sim 18.4 t/hm^2$ (干重),排列顺序为:成熟林>乔幼林>灌丛,各群落以半、已分解层为主。成熟林枯落物储量大于乔幼林和灌丛,成熟林封山时间长,且青冈栎叶子为革质,不易分解,因此储量大。灌丛由于放牧频繁,人为活动较多,对枯落物层破坏较大。

表3 不同植被类型枯落物储量

Table 3 litter amounts in different plant communities

植被类型 Forest type	总储量 Total amounts(t/hm^2)		半、已分解层 Half-and decomposed litter(t/hm^2)		未分解层 Undecomposed litter(t/hm^2)	
	鲜重 Fresh weight(g)	干重 Dry weight(g)	鲜重 Fresh weight(g)	干重 Dry weight(g)	鲜重 Fresh weight(g)	干重 Dry weight(g)
	S1	35.37	18.4	33.03	17.18	2.34
S2	33.98	16.85	32.40	16.04	1.58	0.81
S3	3.70	1.84	3.44	1.72	0.26	0.12

枯落物是表层岩溶生态系统物质循环过程中的一个“有机物质库”,储存着各种矿质元素,并通过微生物的分解,释放大量养分,随着枯枝落叶层渗透水淋洗到土壤,供给植物生长的需要^[11]。

成熟林的5种大量元素(N、P、K、Ca和Mg)的归还量为 $0.64 t/hm^2$,其中有效N、P、K的归还量为 $17.36 kg/hm^2$,3种微量元素(Si、Al、Fe)的归还量为 $3.414 t/hm^2$,4种微量元素(Zn、Cu、Na、Mn)的归还量为 $13.67 kg/hm^2$ 。乔幼林的5种大量元素(N、P、K、Ca和Mg)的归还量为 $0.612 t/hm^2$,其中有效N、P、K的归还量为 $12.35 kg/hm^2$,3种微量元素(Si、Al、Fe)的归还量为 $4.032 t/hm^2$,4种微量元素(Zn、Cu、Na、Mn)的归还量为 $13.08 kg/hm^2$ 。灌丛的5种大量元素(N、P、K、Ca和Mg)的归还量为 $0.048 t/hm^2$,其中有效N、P、K的归还量为 $2.766 kg/hm^2$,3种微量元素(Si、Al、Fe)的归还量为 $0.144 t/hm^2$,4种微量元素(Zn、Cu、Na、Mn)的归还量为 $0.753 kg/hm^2$ (表4和表5)。

枯落物12种元素的总的储量为:乔幼林($4.657 t/hm^2$)>成熟林($4.068 t/hm^2$)>灌丛($0.193 t/hm^2$)。枯落物中主要以Si、Al、Fe为主。不管是成熟林,乔幼林还是灌丛,其凋落物营养元素的归还量是巨大的。

海南岛季雨林、雨林,江西亚热带的常绿阔叶林^[7]、川西亚高山40年人工云杉林和原生云杉林^[11]的储量在 $7.72 \sim 145 t/hm^2$ 之间(表4),营养元素(N、P、K、Ca和Mg)的总量在 $0.139 \sim 0.315$ 之间,岩溶区森林的枯落物储量(成熟林为 $18.4 t/hm^2$,乔幼林为 $16.04 t/hm^2$)是比较丰富的,5种营养元素的总量却是最大的,在 $0.6 t/hm^2$ 左右。主要是岩溶区枯落物中Ca和Mg含量高,枯落物也受富钙、镁岩溶地球化学背景的制约。

表4 不同植物群落枯落物养分储量对比(t/hm^2)

Table 4 Contents of nutrition elements of the litter in different plant communities

林分类型 Forest type	储量 Total amounts	Ca	Mg	TN	K	P	总量 Total
S1	18.4	0.252	0.137	0.177	0.067	0.0065	0.64
S2	16.85	0.213	0.194	0.168	0.031	0.0063	0.612
S3	1.84	0.022	0.009	0.009	0.007	0.0009	0.048
季雨林 Seasonal rain forest ^[7]	9.66	0.11	0.044	0.115	0.046	0.005	0.315
雨林 Rain forest ^[7]	8.86	0.055	0.046	0.09	0.03	0.003	0.224
常绿阔叶林 Evergreen broadleaved forest ^[7]	7.72	0.039	0.013	0.06	0.028	0.004	0.144
40年人工云杉林 40a Picea plantation ^[12]	36.4	—	—	—	—	—	0.139
原生云杉林 Primitive picea forest ^[12]	145	—	—	—	—	—	0.17

表5 不同植物群落枯落物养分储量

Table 5 Contents of nutrition elements of the litter in different plant communities

林分类型 Forest type	Si (t/hm^2)	Al (t/hm^2)	Fe (t/hm^2)	Zn (kg/hm^2)	Cu (kg/hm^2)	Na (kg/hm^2)	Mn (kg/hm^2)	有效 N available N (kg/hm^2)	有效 K available K (kg/hm^2)	有效 P available P (kg/hm^2)
S1	1.498	1.135	0.781	0.87	0.0379	2.86	9.9	10.083	0.297	6.982
S2	2.061	1.22	0.751	0.877	0.0106	3.11	9.08	8.896	0.125	3.326
S3	0.066	0.046	0.032	0.0831	0.0076	0.095	0.567	0.85	0.067	1.849

2.2 不同植被类型枯落物的持水性能

成熟林的吸水率为190.64%,其水容量最大,灌丛次之,乔幼林的水容量最小。成熟林枯落物的有效拦蓄量最大,为26.37 t/hm^2 ,乔幼林的次之,为17.04 t/hm^2 ,灌丛的最大持水量最小,为2.30 t/hm^2 (表6),枯落物截持降雨的能力:成熟林>乔幼林>灌丛。

表6 不同植被类型枯落物持水能力

Table 6 the water capacity of litter in different plant communities

植被类型 Forest type	有效拦蓄量 The effective water holding (t/hm^2)	最大持水率(%) Maximum water capacity			最大持水量(t/hm^2) Maximum water capacity			合计 Total	
		半、已分解层 Half-and decomposed litter	未分解层 Undecomposed litter	平均 Mean	半、已分解层 Half-and decomposed litter	未分解层 Undecomposed litter			
S1	26.37	208.63	172.64	190.64	68.9	4.05	72.95		
S2	17.04	188.43	154.48	171.46	61.04	2.45	63.49		
S3	2.30	216.82	160.67	188.75	7.47	0.42	7.89		

枯落物的持水速度与枯落物的性质和分解程度有关,还与枯落物中的水分含量有关。持水速度越大,枯落物的持水能力比较好。由表7可以看出,各林分不同层次的枯落物平均持水速度都是在0.5h内最大,随着时间的推移,持水速度逐渐降低,在24h后,枯落物平均持水速度趋近于0,此时枯落物持水量达到最大值。从各层次枯落物的平均持水速度来看,各林分分解层和半分解层的平均持水速度皆大于未分解层。在0.5h内,成熟林的枯落物平均持水速度最大,为961.3 $g\cdot kg^{-1}\cdot h^{-1}$,灌丛为911 $g\cdot kg^{-1}\cdot h^{-1}$,乔幼林的最小为499.9 $g\cdot kg^{-1}\cdot h^{-1}$ 。灌丛的持水速率比乔幼林的大,可能是因为灌丛植被比较稀疏,枯落物比较干燥所致。24h后吸水基本停止,枯落物持水达到饱和。

2.3 不同植物群落土壤物理性质

土壤的物理性状指土层厚度、土壤容重及土壤孔隙度等指标,是土壤的结构状况、持水能力和保水能力的

表7 不同植被枯落物吸水速度($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)

Table 7 the water absorption of litter in different plant communities

植被类型 Forest type	项目 Items	浸泡时间 Immerse time(h)						
		0.25	0.5	1	2	4	15	24
S1	未分解层 Undecomposed litter	238.51	252.87	337.84	63.22	9.7	0.98	0.16
	半分解层 Half-decomposed litter	578.73	1798.67	126.61	11.41	2.58	0.32	0.21
	已分解层 decomposed litter	850.54	832.4	958.97	8.46	1.9	0.29	0.13
S2	未分解层 Undecomposed litter	136.33	335	307.08	34.9	11.05	0.63	0.39
	半分解层 Half-decomposed litter	220.48	328.78	200.12	41.1	9.38	1.06	0.6
	已分解层 decomposed litter	1146.42	835.85	24.66	6.17	1.03	0.06	0.06
S3	未分解层 Undecomposed litter	1008.91	830.66	108.73	18.72	5.35	0.24	0.3
	半分解层 Half-decomposed litter	1440.48	1145.65	241.62	35.29	8.14	0.99	0
	已分解层 decomposed litter	25.52	756.55	131.38	29.83	7.76	0.36	0.08

综合体系。各植被群落中,成熟林内平均土壤容重最小,灌丛的最大,乔幼林20~40cm处的容重最小,仅为 $1.01\text{g}/\text{cm}^3$ 。随着土壤的加深,成熟林表层和深层土容重大,乔幼林的容重逐渐变大,灌丛的容重逐渐变小,灌丛表土容重大,主要由于放牧时牲畜和人踩实了表层土所致。

各植被群落中,田间持水量和最大持水量的变化顺序:成熟林>乔幼林>灌丛,成熟林的田间持水量最大可达54.89%。随着土壤的加深,成熟林的田间持水量和最大持水量先增加后减少,乔幼林的逐渐变小,灌丛则是先减少后增加。

各植被群落中,平均非毛管孔隙度为:成熟林2.36%,乔幼林2.07%,灌丛1.33%,各类型的总孔隙度变动范围为52.81%~60.74%。随着土壤的加深,成熟林非毛管孔隙度变小,乔幼林,灌丛则是先变大后变小。

总的来说,土壤水分物理性质的各项指标表示,成熟林的土壤容重小,孔隙度大,田间持水量高,土壤结构疏松,通透性好,水源涵养能力强。乔幼林次之,灌丛的最差(图1)。

枯落物对土壤物理性状的影响是多方面的,但是对0~20cm土壤层影响最显著^[10~12]。0~20表层土中,乔幼林的容重最小,非毛管空隙度最大,田间持水量也最大。

2.4 不同植物群落土壤养分含量

林地枯落物分解后形成的腐殖质和有机质是土壤养分最主要的来源。另外,由于枯落物层的存在,林地土壤中产生了大量的动物、微生物,它们不但促进了土壤肥力的提高,而且能有效地将部分底土搬运到表土层,减少养分的淋失,保持表土富含养分,改善表层土壤养分的分布状况^[12]。

各植被群落中,成熟林的土壤pH值最低,有机质、全N、有效N/P/K含量最高。乔幼林的土壤pH值最高,锌、铜、全K、有效K含量低,钙、镁含量高。灌丛有机质、有效N、有效K含量低,但是锌、铜含量较高。总的来说,土壤养分和肥力状况是成熟林>乔幼林>灌丛(图2)。

随着土壤的加深,枯落物对其的影响减弱。土壤pH值变大,有机质、有效N/P/K、有效锰、有效锌含量减少。有效铜含量有增加的趋势,钙、镁、全N/P/K、有效铁变化趋势不明显(图2)。

枯落物对表层土(0~20cm)的养分影响最大。0~20表层土中,乔幼林的有机质、全N、有效N、有效P、有效锰、有效锌含量最高,有机质高可达8%,相对成熟林和灌丛来说,肥力较好(图2)。主要是因为乔幼林枯落物含有较丰富的营养元素,且分解速度快,因此乔幼林表层土比成熟林和灌丛表层土获得更多的养分,其土壤肥力状况比较高。

2.5 不同植物群落的岩溶效应

成熟林涵养下的表层岩溶泉为常流泉,其pH最低,为7.53,阳离子浓度、阴离子浓度、固定CO₂含量、游离CO₂含量、总硬度、总碱度最高。灌丛涵养下的表层岩溶泉为间歇泉,其阳离子浓度、阴离子浓度、固定CO₂含量、游离CO₂含量、总硬度、总碱度最低(表8)。植被的发育程度越高,其涵养的表层岩溶泉的溶质含量越

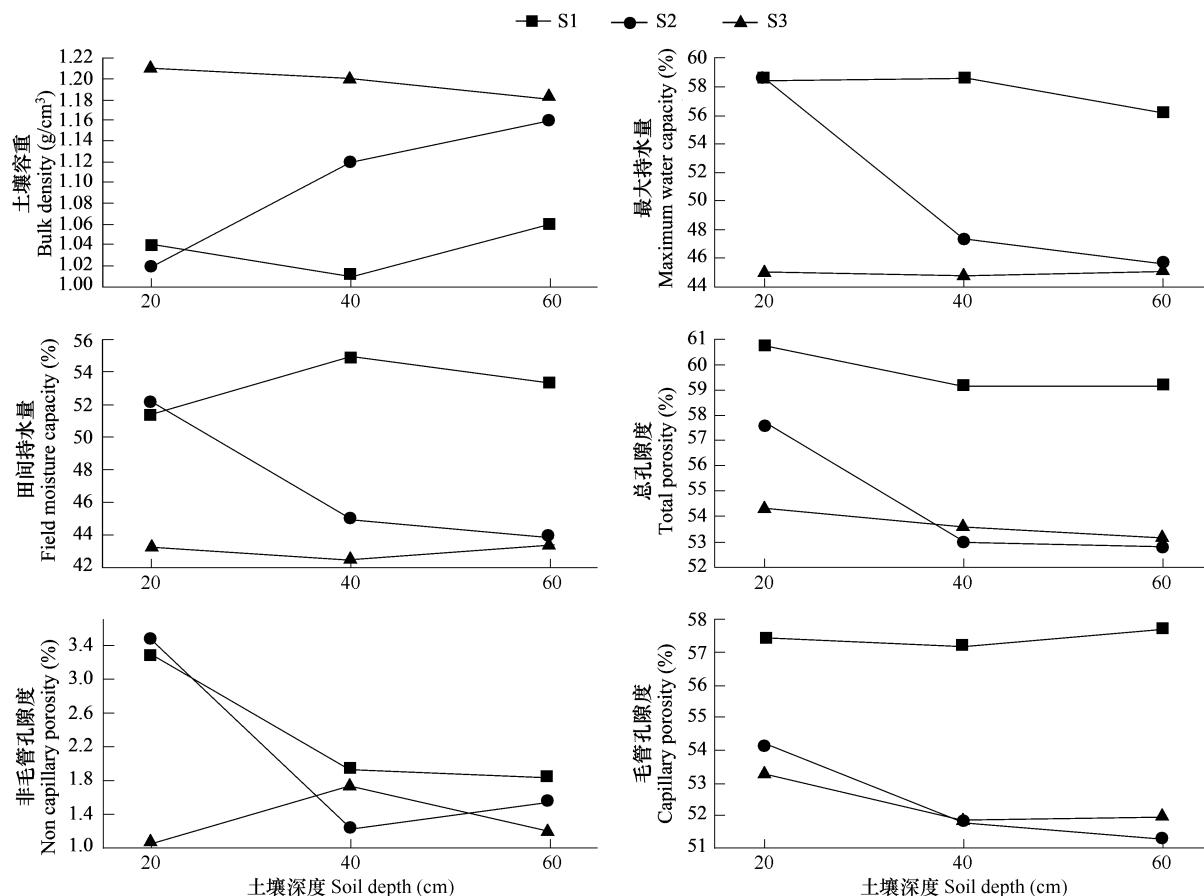


图1 不同植被群落的土壤物理性质

Fig. 1 Soil physical properties in different plant communities

多。因为由于植被的存在,增加了雨水在枯落物层、土壤层的滞留时间,同时,水的pH值降低,溶蚀能力增强,再经过长时间的水岩相互作用,泉水中的总离子浓度增大。泉水中的有机碳主要来源于(1)植被,包括枯落物直接输入以及活植物体和枯落物的淋溶输入;(2)土壤,主要来自微生物代谢、根分泌物以及土壤有机物的淋溶和侵蚀^[13]。各森林下的表层岩溶泉有机碳含量为:乔幼林(64.12mg/L)>灌丛(59.15mg/L)>成熟林(57.15mg/L)。泉水中有机碳的含量受林分组成、枯落物的发育程度、土壤有机质含量等综合因素的影响。

表8 水化学特征对比(mmol/L)

Table 8 water chemical character

森林类型 Forest item	泉水 Spring	pH	有机碳 (mg/L)	阳离子浓度 Cationic concentration	阴离子浓度 Anion concentration	固定CO ₂ Stable CO ₂	游离CO ₂ Free CO ₂	总硬度 Total hardness	总碱度 Total alkalinity
成熟林(S1)	兰店堂泉	7.53	57.15	6.389	6.682	130.04	3.99	316.75	295.81
乔幼林(S2)	上弄拉泉	7.86	64.12	5.683	5.429	115.79	2.66	282.07	263.39
灌丛(S3)	东旺泉	7.96	59.15	5.416	5.209	106.88	2.66	268.20	243.13

3 讨论

(1)本地区枯落物中养分储量丰富。凋落物量是森林生态系统生物量的组成部分,生物量反映森林生态系统的初级生产力水平,是森林生态系统功能的体现^[14]。枯落物储量受枯落物的树种组成、林龄、输入量、分解速度、累积年限、和林分所处的水热条件等的综合影响^[12,14]。弄拉成熟林的枯落物储量是灌丛的10倍,枯落物12种元素的归还量是其21倍。与海南岛季雨林、雨林,江西亚热带的常绿阔叶林、川西亚高山40a人工

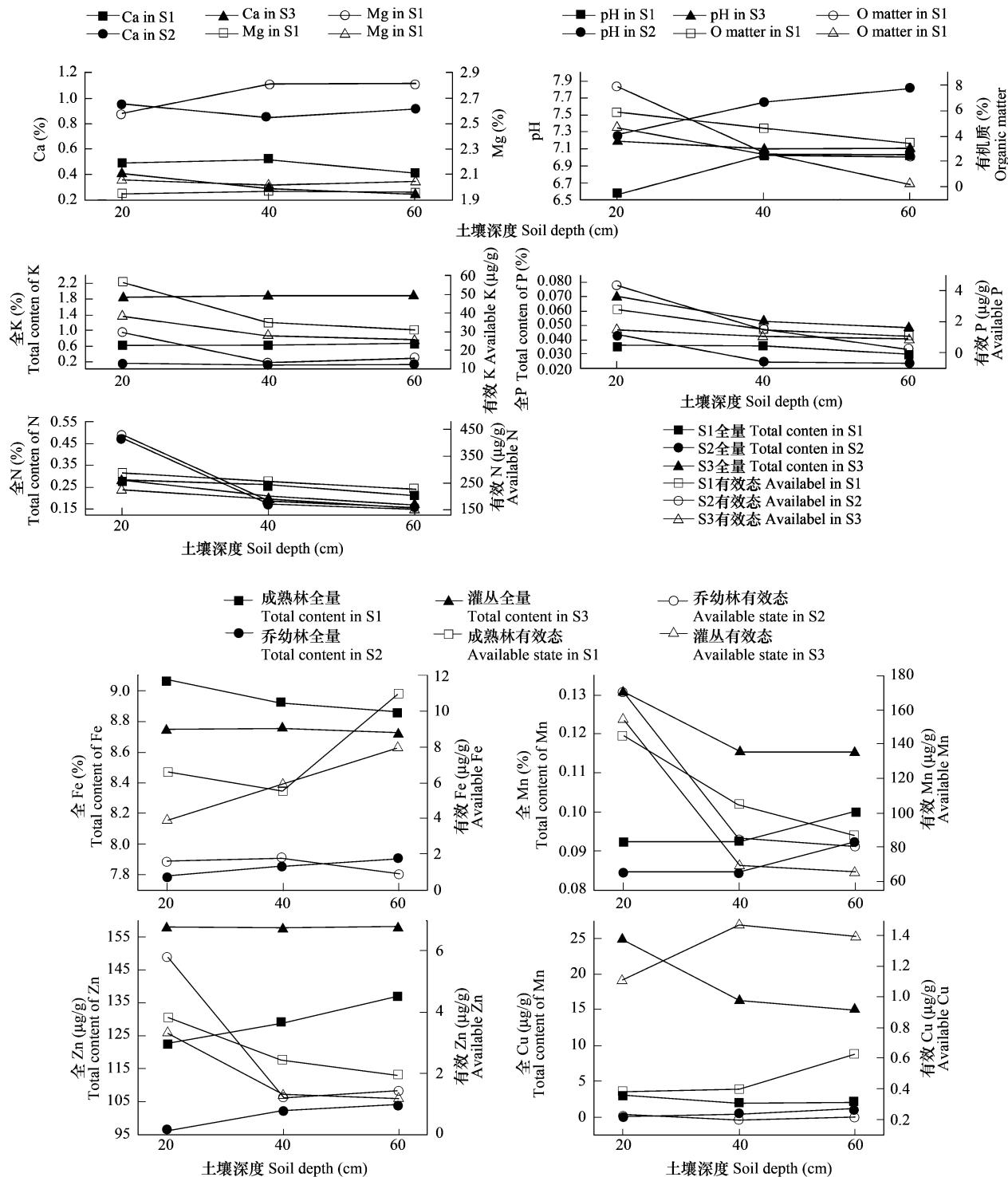


图2 不同植被类型表层土壤养分含量
Fig. 2 Soil nutrient in different plant communities

云杉林和原生云杉林的储量相比,弄拉岩溶区森林枯落物的储量不是最大的,但是5种营养元素的总量却是最大的,其总量是其他森林的2倍以上,其中,Ca和Mg含量高。弄拉岩溶区枯落物中Ca、Mg含量占5种元素总量的64%,其他森林的含量只有43%,枯落物也受富钙、镁岩溶地球化学背景的制约。

(2)石灰土成土过程中,受到岩性、气候、植被、地形等多种因素的影响。弄拉本底深层土壤存在高pH值,高钙镁等特性。表层土壤受枯落物影响很大。在同一地区,深层土壤的理化性质主要受母岩的影响,化学

性质比较稳定。而表层土受枯落物和植被影响大。枯落物的储量、分解程度和组分等控制着表层土有机质、有效N/P/K、有效锰、有效锌等有效态的含量,对元素的全量分布影响不大,影响土壤元素全量空间分布的因素主要是土壤母质。成熟林的土壤容重小,孔隙度大,田间持水量高,土壤pH值最低,有机质、全N、有效N/P/K含量最高。土壤结构疏松,通透性好,水源涵养能力强,土壤肥力高。但是枯落物对土壤的影响主要集中在0~20cm。在这一表土层,乔幼林的容重最小,非毛管空隙度最大,田间持水量高,土壤有机质、全N、有效N、有效P、有效锰、有效锌含量最高,与成熟林和灌丛相比,肥力较高。主要是因为乔幼林12种元素的归还量(4.657 t/hm²)比成熟林(4.068 t/hm²)高,灌丛为4.85 t/hm²,且分解程度高的原因。

(3)枯落物的存在可以促进碳酸盐岩的成土速率。植被和枯落物的存在提高土壤中CO₂和有机酸的浓度,促进碳酸盐岩的成土速率。土壤腐殖质的形成与积累是土壤发育的重要特征之一,而土壤腐殖质的来源主要是通过枯落物的分解^[4]。广西弄拉地处热带北部,夏季高温多雨,土层薄,土壤有机质容易积累,同时营养物质容易流失。枯落物的存在不仅可以避免土壤受到雨滴的直接溅击,减免雨水对表土的侵蚀作用,防治水土流失,还可以加速土壤有机质的积累,增加土壤肥力。对于本来就缺土的岩溶区是非常重要的。

(4)表层岩溶动力系统中枯落物的持水能力效应。在典型的表层岩溶动力系统中,土层薄,岩石裸露率高,很多地方枯落物直接覆盖在岩石上,增加了岩石的持水性。各个群落枯落物的吸水率依次为:成熟林(190.64%)>灌丛(188.75%)>乔幼林(171.46%)。成熟林枯落物有效拦蓄量是灌丛的11倍。由此涵养的表层岩溶泉为常流泉,流量也比较大^[15,16]。在茂兰森林区,土层不发达,半分解状的枯枝落叶层极为发达,林内发育大量的表层滞留泉和沼泽湿地,是地被物对系统水分调节的具体表现^[17]。除森林外,枯落物层和低等植物也是重要的蓄水介质^[18],是表层岩溶动力系统内部的主要调节者,对表层岩溶泉的涵养起重要的作用。

(5)枯落物的存在给表层岩溶动力系统注入更多的有机质和CO₂。不同的岩溶作用,形成不同的岩溶形态,从而导致一系列不同的环境问题,如旱、涝、石漠化、水土贫瘠,生物多样性受限等等。而CO₂和水是驱动岩溶作用的两大源动力^[2]。枯落物层在其中的作用常被忽略。枯落物是森林生态系统物质循环过程中重要的有机物质库,贮存了大量营养物质,并通过微生物的分解释放出来,雨水经过枯落物的吸持、淋溶直接注入表层岩溶动力系统中,给岩溶生态系统注入更多的有机质和CO₂,增加了水的侵蚀能力,加速岩溶动力系统的运行。

目前,我国西南岩溶区的石漠化问题已经受到国家和国内外学者的高度重视^[19,20]。在西南石漠化生态重建和恢复过程中,存在着如何提高石灰土保水保肥能力的问题,封山育林,优化配置人工植被群落,大力保护林地枯落物,是行之有效的措施。这同时对表层岩溶泉的涵养和发育,石灰土资源的开发和利用具有重要的、不可忽略的作用。

References:

- [1] Yuan D X. World correlation of karst ecosystem: Objectives and implementation plan. Advance in Earth Sciences, 2001, 16(4):461—466.
- [2] Yuan D X, Liu Z H, Lin Y S. Karst dynamic system of China. Beijing: The Geology Press of China, 2002, 1—100.
- [3] Cao J H, Yuan D X, Pei J G, et al. Karst ecosystem of southwest china constrained by geological setting. Beijing: The Geology Press of China, 2005, 10—36.
- [4] Cao J H, Yuan D X, Pan G X. some soil features in karst ecosystem. Advance in Earth Sciences, 2003, 18(1):37—44.
- [5] Wei Q F, Chen H Z, Wu Z D. The geochemical Characteristics of limestone oil in Nonggang area, Guangxi. Acta Pedologica Sinica, 1983, 20(1):30—41.
- [6] Zhao B J, Wen Q X. Effect of calcareous parentmetera On the composition characteristics of soil humus. Acta Pedologica Sinica, 1988, 25(3):242—250.
- [7] Zhao Q G, Wang M Z, He Y Q. Litters and its influence on soil in tropic and subtropic forest in China. Soils, 1991, 23(1):8—15
- [8] Deng Y, Jiang Z C, Cao J H, Li Q, Lan F N. Characteristics comparison of the leaf anatomy of *Cyclobalanopsis glauca* and its adaption to the environment of typical karst peak cluster areas in Nongla. Guihaia, 2004, 24(4):317—322.

- [9] Zhang C,Xie Y Q,Lu Y,Jiang Y J,Cao J H,Jiang G H,Yang P H,Wang D Y. Impact of land-use patterns upon karst processes: Taking Nongla fengcong depression area in Guangxi as an example. *Acta Geographica Sinica*, 2006,61(11):1181~1188.
- [10] Yang J H,Zhang Y T,Li H Y,Xia J B. Study on water-holding ability of letter and physical and chemical characteristics of superficial soil in different forest distributions. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2003,17(2):141~144.
- [11] Pritchett W L, and R F. Properties and management of forest soils (second Edit), 1987. 58~69.
- [11] Lin B,Liu Q,Wu Y,et al. Effect of forest litters on soil physical and chemical properties in subalpine coniferous forests of western Sichuan. *Chin J Appl Environ Biol*, 2003,9(4):346~351.
- [13] Luo Y,Zhou G Y,Zhang D Q,Guan L L,Ouyang X J,Zhu G W. Study on the concentration of total organic carbon in the forest hydrological processes of three main forest types in Dinghushan during a rain season. *Acta Ecologica Sinica*, 2004,24(12):2973~2978.
- [14] Luo Z S,Xiaang C H,Mu C L. The litterfall of major forests in Guangxi river watershed in Miyang City, Shichuan Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2007,27(5):1772~1781.
- [15] Jiang Z C,Yuan D X. Dynamic features of the epikarst zone and their significance in environments and resources. *Acta Geoscientia Sinica*, 1999,20(3):302~308.
- [16] Jiang Z C. Element migration of karst dynamic system. *Acta Geographica Sinica*, 1999,54(5):438~444.
- [17] He S Y,Ran J C,Yuan D X,Xie Y Q. A Comparative study on hydrological and ecological effects in different karst ecosystems. *Acta Geoscientia Sinica*, 2001,22(3):265~270.
- [18] Cao J H,Yuan D X. Relationship between water-holding of carbonate rock and saxicolous algae, lichen and moss and its ecological significance. *Geochimica*, 1999,28(3):248~256.
- [19] Jiang Z C,Li X K,Zeng F P,et al. Ecological rebuild in g karst peak-cluster depression. Beijing:The Geology Press of China, 2007. 4~10
- [20] Li E X,Jiang Z C,Cao J H,Jiang G H,Deng Y,The comparison of properties of karst soil and karst erosion ratio uncer different successional stages of karst vegetation in nongla,Guangxi. *Acta Ecologica Sinica*, 2004,24(6):1131~1139.

参考文献:

- [1] 袁道先. 全球岩溶生态系统对比:科学目标和执行计划. 地球科学进展, 2001,16(4):461~466.
- [2] 袁道先, 刘再华, 林玉石, 等. 中国岩溶动力系统. 北京: 地质出版社, 2002.
- [3] 曹建华, 袁道先, 裴建国, 等. 受地质条件制约的中国西南岩溶生态系统. 北京: 地质出版社, 2005. 10~36
- [4] 曹建华, 袁道先, 潘根兴. 岩溶生态系统中的土壤. 地球科学进展, 2003,18(1):37~44.
- [5] 韦启藩, 陈鸿昭, 吴志东. 广西弄岗自然保护区石灰土的地球化学特征. 土壤学报, 1983,20(1):30~41.
- [6] 赵斌军, 文启孝. 石灰性母质对土壤腐殖质组成和性质的影响. 土壤学报, 1988,25(3):243~250.
- [7] 赵其国, 王明珠, 何园球. 我国热带亚热带森林凋落物及其对土壤的影响. 土壤, 1991,23(1):8~15
- [8] 邓艳, 蒋忠诚, 曹建华, 李强, 蓝芙蓉. 弄拉典型峰丛岩溶区青冈栎叶片形态特征及对环境的适应. 广西植物, 2004,24(4):317~322.
- [9] 章程, 谢运球, 吕勇, 蒋勇军, 曹建华, 姜光辉, 杨平恒, 王冬银. 不同土地利用方式对岩溶作用的影响——以广西弄拉峰丛洼地岩溶系统为例. 地理学报, 2006,61(11):1181~1188.
- [10] 杨吉华, 张永涛, 李红云, 夏江宝. 不同林分枯落物的持水性能及对表层土壤理化性质的影响. 水土保持学报, 2003,17(2):141~144.
- [12] 林波, 刘庆, 吴彦, 庞学勇, 何海. 川西亚高山针叶林凋落物对土壤理化性质的影响. 应用环境生物学报, 2003,9(4):346~351.
- [13] 罗艳, 周国逸, 张德强, 宫丽莉, 欧阳学军, 褚国伟. 鼎湖山三种主要林型水文学过程中总有机碳浓度对比. 生态学报, 2004,24(12):2973~2978.
- [14] 骆宗诗, 向成华, 慕长龙. 绵阳官司河流域主要森林类型凋落物含量及动态变化. 生态学报, 2007,27(5):1772~1781.
- [15] 蒋忠诚, 袁道先. 表层岩溶带的岩溶动力学特征及其环境和资源意义. 地球学报, 1999,20(3):302~308.
- [16] 蒋忠诚. 岩溶动力系统中的元素迁移. 地理学报, 1999,54(5):438~444.
- [17] 何师意, 冉景丞, 袁道先, 谢运球. 不同岩溶环境系统的水文和生态效应研究. 地球学报, 2001,22(3):265~270.
- [18] 曹建华, 袁道先. 石生藻类、地衣、苔藓于碳酸盐岩持水性及生态意义. 地球化学, 1999,28(3):248~256.
- [19] 蒋忠诚, 李先琨, 曾馥平, 等. 岩溶峰丛洼地生态重建. 北京: 地质出版社, 2007. 4~10.
- [20] 李恩香, 蒋忠诚, 曹建华, 姜光辉, 邓艳. 广西弄拉岩溶植被不同演替阶段的主要土壤因子及溶蚀率对比研究. 生态学报, 2004,24(6):1131~1139.