

文章编号:1001-4810(2008)04-0321-08

典型喀斯特地区马尾松纯林及马尾松—阔叶树混交林营养元素生物循环研究 ——以贵州龙里为例

李茜^{1,2}, 杨胜天², 盛浩然^{3,2}, 盛岩⁴, 李巍⁵, 李顺江⁵

(1. 中国环境监测总站, 北京100012; 2. 北京师范大学地理学与遥感科学学院、遥感科学国家重点实验室, 北京100875;
3. 科菱航空空间信息技术有限公司, 北京100022; 4. 中国人民大学环境学院, 北京100872;
5. 北京师范大学环境学院、水环境模拟国家重点实验室, 北京100875)

摘要:以龙里典型喀斯特地区马尾松纯林及马尾松—阔叶树混交林为研究对象,研究了两个群落的生物量、营养元素贮量、分布及循环特征。结果表明:马尾松纯林、马尾松—阔叶树混交林的生物量分别为40.62t/hm²、48.32t/hm²,混交林的乔木层总生物量比马尾松纯林高18.97%,根系生物量较纯林高65.12%。混交林乔木层各器官营养元素的含量整体大于马尾松纯林,两群落乔木层N、P、K、S的含量表现出一致的趋势,叶>根>枝>干。混交林乔木层各元素的积累量分别比纯林高47.97%~197.67%,凋落物层各元素贮量比纯林高85.40%~318.301%。混交林的年归还量、年存留量和年吸收量均大于马尾松纯林,且各元素循环系数大于马尾松纯林。马尾松林与阔叶树混交可以有效地提高群落生物量和营养元素循环的能力。

关键词:马尾松林;马尾松—阔叶树混交林;生物循环;喀斯特;贵州龙里
中图分类号:Q945 **文献标识码:**A

营养元素生物循环是陆地生态系统的基本功能之一,对营养元素生物循环的研究有助于了解植被群落结构和生产力的影响因素,以及典型群落对土壤理化性质、水土保持、生态系统稳定等方面的影响^[1~3]。

贵州省地处我国西南喀斯特地区的核心地带,属我国乃至世界亚热带锥状喀斯特分布面积最大、发育最强烈的高原山区。喀斯特出露区面积占全省土地面积的73.6%。随着人类活动的加剧,生态环境退化,水土流失加重,石漠化趋势加剧,造成了特殊的“喀斯特贫困”现象。目前对喀斯特地区森林生物量和生产力已有研究,但对喀斯特典型森林的营养元素生物循环的研究报道较少^[4~7]。本文以贵州龙里地区典型喀斯特地貌的马尾松纯林群落和马尾松—阔叶树混交林群落为对象,研究了两个群落的生物量和营养元素生物循环特征,为进一步揭示马尾松纯林和混交林的生态

差异,以及喀斯特地区生态系统的保护、利用和管理提供科学依据。

1 研究区概况

1.1 研究区自然概况

研究区位于贵州龙里生态园内,总面积12km²,地貌类型为中低山丘陵,土壤主要为黄壤土、石灰土和水稻土。马尾松纯林群落的基岩为砂页岩,混交林为石灰岩。区内年平均降雨量为1158.5mm,4~9月的降雨量达810mm,占全年降雨量70%。研究区气候冬暖夏凉,年均气温14.7℃,极端最高气温35℃,极端最低气温-3℃,≥10℃年积温4274~4574℃。

1.2 研究区的植物群落特征

马尾松纯林群落的乔木层由马尾松(*Pinus mas-*

基金项目:国家973项目“中国酸雨沉降机制、输送态势及调控原理”(2005CB422200)

第一作者简介:李茜(1983-)女,硕士,助理研究员,研究方向,资源与环境遥感。E-mail: liqian@cncem. cn.

通讯作者:杨胜天,博士,教授,从事水资源与水环境遥感、自然地理研究。E-mail: yangshengtian@bnu. edu. cn.

收稿日期:2008-05-27

soniana)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、光皮桦(*Betula luminifera*)等组成。马尾松系飞播后养护而成,平均树高为6.94m,胸径为9.19cm,盖度在45%左右,密度为1 175株/hm²。灌木层较为发达,盖度为40%~80%,优势种为滇白珠(*Gaultheria yunnanensis*)、铁仔(*Myrsine africana*)、映山红(*Rhododendron simsii*)、茅栗(*Castanea sequinii*)、小果南烛(*Lyonia ovalifolia var. elliptica*)。草本层盖度在35%左右,主要种类有芒萁(*Dicranopteris dichotoma*)、蕨(*Pteridium aquilinum var. latiusculum*)等。

混交林群落的乔木层分为两个亚层,上层以马尾松占优势,平均树高9.05m,胸径12.87cm,下层以榿栎(*Quercus aliena*)、白栎(*Quercus foabri*)占优势,平均树高6.38m,胸径7.17cm。此外,伴生有云南樟(*Cinnamomum glanduliferum*)、盐肤木(*Rhus chinensis*)、杨梅(*Myrica rubra*)等。乔木层盖度达25%~60%,密度为1 269株/hm²。灌木层盖度达60%,以映山红、茅栗为优势种,伴生有榿栎幼树、火棘(*Pyracantha fortuneana*)、小果南烛等。草本层发育较差,盖度15%,优势种有芒萁、蕨等。

2 研究方法

2.1 样地设置

2007年4月在马尾松纯林及混交林分布区设置样带,每条样带宽20m,样带面积共44 340m²。沿样带

设置样地,根据山体地形确定样地位置,包括山顶、山腰,每个样地面积为20m×20m,样地平均间隔70m。马尾松纯林和混交林群落各设置了9个样地(图1, M1—M9为马尾松纯林样地, H1—H9为混交林样地)。

2.2 群落生物量的测定

在群落样地内对乔木进行每木调查,鉴定种类、测量株高和胸径。在样地每木调查的基础上,根据丁贵杰^[8]、安和平^[9]利用相对生长测定法(allometric method)得出的马尾松相对生长方程式(1—5)计算马尾松各器官生物量,混交林中阔叶树的生物量则根据陈启瑞^[9]的相对生长方程式(6—9)计算:

马尾松:

树叶的生物量

$$W_t = 0.003\ 602\ 04 \times (D^2H)^{0.980\ 283\ 223} \quad (1)$$

树干的生物量

$$W_s = 0.024\ 985\ 606 \times (D^2H)^{0.917\ 050\ 481} \quad (2)$$

树皮的生物量

$$W_{ba} = 0.022\ 044\ 262 \times (D^2H)^{0.769\ 732\ 233} N^{(-0.099\ 111\ 795)} \quad (3)$$

树枝的生物量

$$W_b = 0.005\ 973\ 838 \times (D^2H)^{1.002\ 747\ 827} \quad (4)$$

树根的生物量

$$W_r = 0.02\ 777 \times (D^2H)^{0.73\ 298} \quad (5)$$

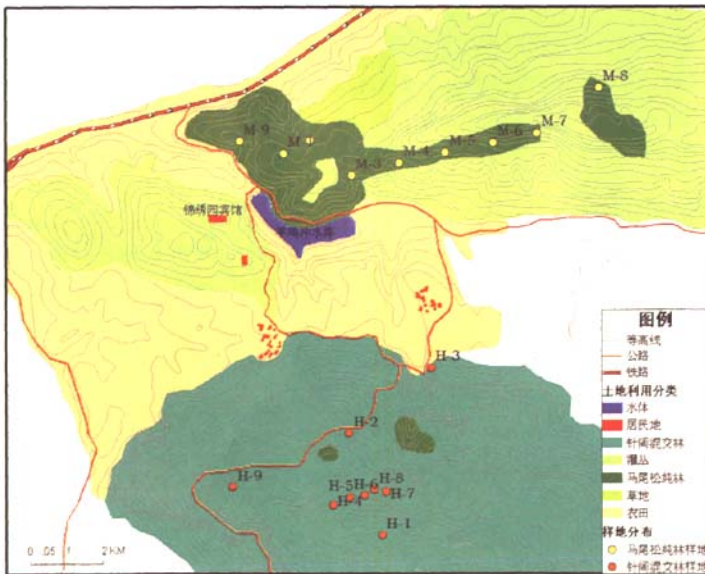


图1 马尾松及其混交林采样点分布图

Fig. 1 The distribution of sampling points in Pinus forest and mixed forest

阔叶树:

树叶的生物量

$$W_t = 0.008 \times (D^2 H)^{0.827378} \quad (6)$$

树干的生物量

$$W_s = (D^2 H) / (20.36 + 0.0126 \times (D^2 H)) \quad (7)$$

树枝的生物量

$$W_b = 0.006 \times (D^2 H) \times e^{0.000423 \times (D^2 H)} \quad (8)$$

树根的生物量

$$W_r = 0.098 + 0.0176 \times (D^2 H) \quad (9)$$

乔木总生物量

$$W = W_t + W_s + W_{ba} + W_b + W_r \quad (10)$$

式中, D 为胸径, H 为树高, N 为每公顷株数, W 为总生物量, W_t 、 W_s 、 W_{ba} 、 W_b 、 W_r 分别为树叶、树干、树皮、树枝、树根生物量。

在样地内,用生长锥钻取树木胸径样品,对钻芯进行磨平,打光后在显微镜下测定2006和2007两年的胸径 D ,用下式估算年增长率

$$P = W_n - W_{n-1} \quad (11)$$

式中 n 为年份。

灌木、草本运用收获法测定生物量,在每个标准样地中按对角线设置2个4m×4m的林下层样方,将样方内的植株全部收集直接称其鲜重,混合采取部分植株样品在105℃下烘干并称重,求出干鲜重比,并换算出样方内植株的干重。凋落物在林下层样方内收集,烘干并称重。

2.3 样品采集

乔木层采样:在样地内分为叶片、枝、干、根进行采样。采集各种年龄的松针或树叶,然后按样地混合取样;树干用生长锥在胸径处钻取整个直径深度的样品,每钻样品在中间分开后,一半与另外一钻的一半混合作营养分析用;采集各种粗细的枝条,然后按样方混合取样;每个样方内随机选择2株树,用土钻挖出土壤,在土壤中筛出不同粗细的根。

林下层采样:在样地中的林下层样方内,灌木分树叶、枝干、根取样,草本和凋落物取混合样。

土壤层采样:在样地内进行土壤分层(0~20cm, 20~40cm, 40~60cm)取样,以测定养分含量等指标。每个样地内按X形端点和交叉点布置5个采样点,然后进行土壤混合。

2.4 营养元素测定

野外采集的植物样品在80~90℃的鼓风干燥箱中烘15~30min,降温至65℃烘至恒重,磨碎装瓶。测定前在105℃下烘至恒重,准确称样,用硝酸-双氧水电感耦合等离子光谱法测定样品中P、Ca、Mg、K、S的含量,植物N用元素分析法测定。土壤样品风干、磨碎、过100目筛,用硝酸-氢氟酸-高氯酸电感耦合等离子光谱法测得P、Ca、Mg、K元素全量,土壤全N用元素分析法测定。

3 结果与分析

3.1 群落生物量特征

两林分生物量见表1。由表1可见,马尾松纯林的总生物量为40.622t/hm²、混交林群落的生物量为48.328t/hm²,低于我国其它地区(黄土丘陵30a人工油松林生物量为82.8t/hm²[10],鼎湖山马尾松林生物量为72.19t/hm²[11],福建马尾松及阔叶树混交林的平均生物量为210t/hm²[12]),属于低生物量森林群落。混交林的乔木层总生物量比马尾松纯林高18.97%。在乔木层中,干材(包括树皮)生物量最大,占总生物量的53.90%~54.06%,其余依次为树枝>根系>树叶。混交林树叶的生物量比马尾松纯林低3.78%,混交林根系生物量较马尾松纯林高65.12%。由于阔叶树的作用,在混交林中乔木层的生物量较多的分配给了树根,可见由纯林向混交林的演化中,植物为了克服喀斯特生境水、土壤条件恶劣而以发达的根系从更广阔的土壤空间来吸收水分和养料,有利于植物对土壤养分的吸收利用[13],促进植物生长发育,并抑制了水土流失,对喀斯特地区防治沙漠化带来积极影响。

表1 马尾松纯林、混交林生物量及其分配(t/hm²)

Tab. 1 Biomass in Pinus forest and mixed forest

林分类型	层次	树干带皮	树枝	树叶	树根	合计
马尾松纯林	乔木层	19.653(53.90)	7.962(21.79)	4.040(11.06)	4.827(13.25)	36.482
	林下层	2.103(50.79)		0.157(3.79)	1.880(45.42)	4.140
混交林	乔木层	23.736(54.06)	8.973(19.07)	3.887(8.50)	7.971(18.37)	44.566
	林下层	1.836(48.81)		0.116(3.07)	1.810(48.12)	3.762

注:括号内的数字为各器官占该层生物量比例(%)

林下植被通过生命活动不断地改变着林下微环境,对整个森林生态系统的稳定、演替发展、植物多样性等起到重要作用^[14]。混交林林下层生物量较纯林低10.05%,主要是由于马尾松纯林林冠较小,郁闭度低,使林下植被生长旺盛,生物量较高;而在混交林中,由于马尾松和阔叶树的林冠郁闭度较大,抑制了林下植被的生长。林下层的根系生物量比例较非喀斯特地区明显要高(福建马尾松林林下层生物量比例为28.63%,针阔混交林的平均比例为35.76%^[15]),达到了林下层总生物量的45.42%~48.12%,这也是林下层植被适应喀斯特生境水土条件贫瘠的结果。根系的生长有利于疏松土壤,提高土壤的孔隙度,促进土壤微团粒的形成,改善了土壤物理的性质^[16]。

3.2 不同林分营养元素含量

群落不同植被层次的营养元素含量由于植被自身特性的影响而产生差异。由表2可知,两个群落中林下层植物营养元素含量均高于乔木层。而林下层植被能降低地表径流、减少养分的流失,有利于林地养分循环和土壤肥力的维护与提高,对喀斯特地区的生态恢复具有重要作用^[17]。

表2 马尾松纯林、混交林各组分营养元素含量比较(g/kg)

Tab. 2 Content of nutrient components in Pinus forest and mixed forest

林分类型	组分	N	P	Ca	K	Mg	S
马尾松纯林	树叶	7.825	0.972	4.615	4.531	1.283	1.665
	树干	0.267	0.149	1.171	0.790	0.739	0.250
	树枝	0.629	0.351	4.308	1.703	0.622	0.322
	树根	1.540	0.361	1.005	1.922	0.547	1.040
	乔木层	1.351	0.312	2.213	1.553	0.748	0.527
	林下层	2.775	0.463	4.370	2.289	0.765	0.832
	凋落物层	3.972	0.435	2.298	1.453	0.460	1.401
	土壤层	1.073	0.163	179.592	49.881	14.535	—
	树叶	16.488	1.413	5.502	6.066	1.589	1.907
	树干	0.779	0.201	3.417	1.049	0.317	0.304
混交林	树枝	1.085	0.131	5.760	1.217	0.584	0.398
	树根	3.395	0.210	3.068	2.415	0.559	1.055
	乔木层	2.576	0.260	3.945	1.716	0.514	0.589
	林下层	2.830	0.538	4.884	2.618	0.849	0.768
	凋落物层	6.519	0.531	5.590	1.057	0.641	1.397
	土壤层	1.237	0.216	566.981	170.126	52.170	—

两个群落乔木层植物各器官营养元素浓度基本都是在叶片中最高,树干中最低。N、P、K、S的含量随器官不同而异,但表现出一致的趋势,即叶>根>枝>干,Ca与Mg无明显规律。混交林中乔木层各器官营养元素的浓度总体上较马尾松纯林高,其中叶片各元素高出14.49%~110.7%,因此,混交林会有更多的养分归还到土壤。混交林的林下层除S外其它元素的浓度均高于纯林。凋落物中除K外其它元素的浓度均高于纯林,这可能与K易淋洗有关。

3.3 不同林分营养元素积累和分配

两种林分的营养元素贮量,以土壤层所占比例最大,约占种营养元素总贮量的96.11%~96.77%,其余依次为乔木层>林下植被层>凋落物层(表3)。

表3 马尾松纯林、混交林各组分营养元素贮量(kg/hm²)

Tab. 3 Accumulation of nutrient components in Pinus forest and mixed forest

林分类型	组分	N	P	Ca	K	Mg	S	
马尾松纯林	树叶	31.610	3.928	18.642	24.504	6.420	7.703	
	树干	5.253	2.932	23.005	15.523	14.534	4.916	
	树枝	5.006	2.798	34.299	13.556	4.951	2.560	
	树根	7.436	1.745	4.853	9.277	2.639	5.022	
	乔木层	49.305	11.403	67.113	53.626	19.898	17.276	
	林下层	11.490	1.917	18.092	9.477	3.166	3.446	
	树叶	64.086	5.493	21.385	17.613	4.987	6.473	
	树干	14.923	8.342	102.252	40.413	14.760	7.633	
	混交林	树枝	9.735	1.175	51.681	10.917	5.241	3.568
		树根	27.064	1.670	24.457	19.248	4.455	8.406
乔木层		115.808	16.680	199.774	88.191	29.443	26.081	
林下层		10.647	2.024	18.372	9.848	3.194	2.889	

3.3.1 植被层营养元素的贮量

乔木层各器官营养元素贮量以树叶、树干最大,纯林中树叶最大,占乔木层总贮量的36.67%,其次为树干,占26.14%;而混交林中树干>树叶,分别占39.57%、25.22%。在纯林中,营养元素贮量为Ca>K>N>Mg>S>P,混交林中为Ca>N>K>Mg>S>P。两个群落中均以Ca、N、K三种元素的贮量最大,其中Ca为树干、树枝的主要组成元素,而N主要累积于树叶。混交林乔木层的N、P、K、Mg、Ca、S积累量分别较纯林高134.88%、46.29%、197.67%、64.46%、47.97%、50.97%,可见马尾松与阔叶树混交明显提高了主要营养元素的贮量。

6种营养元素在林下层的贮量,纯林为47.59kg/hm²、混交林为46.97kg/hm²,两种林分差异不明显。不同营养元素的贮量大小顺序,纯林为Ca>N>K>S>Mg>P,混交林为Ca>N>K>Mg>S>P。

3.3.2 凋落物层营养元素贮量

森林凋落物的贮存及养分释放,是森林生态系统能量流动和物质循环的一个重要环节^[18]。凋落物分解过程能明显增加土壤阳离子交换量,加速土壤矿物的风化,分解的最终产物成为森林植被的主要矿质养分来源^[19-21]。本研究测得马尾松纯林和混交林的凋落物层营养元素的总贮量分别为1077.14 kg/hm²和2745.11kg/hm²(表4)。混交林N、P、K、Ca、Mg、S元素贮存量分别较马尾松纯林高318.30%、211.52%、519.83%、85.40%、255.55%、154.18%。混交林的凋落物中由于混有量大、养分丰富、较针叶易腐烂矿化的枝叶,更有利于提高土壤养分。

表4 马尾松纯林、混交林凋落物层营养元素贮量(kg/hm²)

Tab. 4 Accumulation of nutrient components in litter layers of Pinus forest and mixed forest

林分	N	P	Ca	K	Mg	S
马尾松纯林	4.278	0.468	2.476	1.565	0.495	1.509
混交林	17.897	1.458	15.345	2.902	1.761	3.836

3.3.3 土壤层营养元素贮量

马尾松纯林和混交林0~60cm土层营养元素现存量分别为7358.03 kg/hm²和12202.62 kg/hm²(表5)。混交林土层中营养元素的贮量是马尾松纯林的1.66倍,两群落相同土层营养元素现存量也存在较大差异。马尾松纯林与混交林0~20cm土层中营养元素的储量分别占该林0~60cm土层总量的46.70%和47.23%,可见这两种林地营养元素主要集中在表层,这是由于马尾松纯林和混交林的根系主要分布在中下层土壤,并吸收壤中下层的元素造成。混交林各元素土壤贮量高于纯林55.43%~670.51%。

表5 马尾松纯林、混交林土壤层营养元素的现存量

Tab. 5 The existing amount of nutrient elements in soil layers of Pinus forest and mixed forest

土层(cm)	林分类型	营养元素积累量(kg/hm ²)						
		Ca	K	Mg	Na	N	P	总计
0~20	马尾松纯林	389.500	104.303	41.679	11.393	2508.054	380.132	3435.061
	混交林	1375.985	131.016	290.028	18.131	3384.593	564.715	5764.468
20~40	马尾松纯林	281.940	57.292	15.400	9.611	1500.267	240.016	2104.526
	混交林	1411.639	108.941	513.456	28.713	2720.181	544.314	5327.244
40~60	马尾松纯林	215.784	83.682	16.838	7.813	1332.085	162.827	1819.029
	混交林	1359.182	141.278	505.286	28.207	2718.814	302.661	5055.428
合计	马尾松纯林	887.224	245.277	73.917	28.817	5340.406	782.975	7358.616
	混交林	4146.806	381.234	1308.760	75.051	8823.588	1411.690	16147.14

3.4 营养元素的生物循环

3.4.1 营养元素的年累计量

乔木层不同组分营养元素的年积累量不同,但总的趋势是:树干>树皮>树枝>树叶(表6)。同一组分中,不同元素的年积累量与各组分营养元素贮量的大小变化顺序基本一致,表现为:N>Ca>K>Mg>P。

3.4.2 营养元素的生物循环特征

营养元素的生物循环是指营养元素由土壤-植物-凋落物-土壤的循环流动过程。其平衡方程为:

吸收=存留+归还。存留是指多年生器官在一年中元素增加的数量;吸收元素的一部分以枯落物的残落与分解、雨水自植物群落淋洗以及根的解吸、外渗、分泌等方式归还给土壤^[22-27]。本文的群落归还量只考虑凋落物归还,因此数值偏低。马尾松纯林和混交林的营养元素年归还量分别为10.79kg/hm²,44.79kg/hm²(表7)。其中,混交林6种元素的年归还量和年存留量均大于马尾松纯林,因此混交林各营养元素的年吸收量较纯林高13.17%~244.36%。

表6 马尾松纯林、混交林营养元素的年累积量(kg/hm²·a)

Tab. 6 Annual accumulation of nutrient elements in Pinus forest and mixed forest

林分类型	组分	生物量	N	P	Ca	K	Mg	S	合计
马尾松纯林	树叶	671.107	5.251	0.653	3.097	3.041	0.861	1.118	14.021
	树干	3 226.833	0.862	0.481	3.777	2.549	2.386	0.807	10.863
	树枝	1 326.525	0.834	0.466	5.715	2.259	0.825	0.427	10.525
	树根	390.178	1.130	0.265	0.738	1.410	0.401	0.763	4.707
	合计	5 958.107	8.078	1.865	13.326	9.258	4.473	3.115	40.116
混交林	树叶	173.154	4.043	0.370	2.154	1.637	0.593	0.698	9.496
	树干	3 760.105	3.612	0.601	18.179	4.401	1.333	1.094	29.222
	树枝	1 906.298	3.216	0.465	16.373	2.780	1.107	0.751	24.691
	树根	1 748.78	4.559	0.216	3.930	2.381	0.498	1.161	12.745
	合计	8 250.183	15.430	1.652	40.636	11.199	3.533	3.704	76.153

表7 马尾松纯林、混交林营养元素的生物循环量(kg/hm²·a)

Tab. 7 The biologic cycling amount of nutrient elements in Pinus forest and mixed forest

项目	林分	N	P	Ca	K	Mg	S	合计
吸收量	松纯林	12.356	2.333	15.802	10.824	4.969	4.624	50.908
	混交林	34.285	3.193	56.101	14.419	5.345	7.599	120.942
归还量	松纯林	4.278	0.468	2.476	1.565	0.495	1.509	10.792
	混交林	18.856	1.541	15.465	3.220	1.813	3.894	44.788
存留量	松纯林	8.078	1.865	13.326	9.258	4.473	3.115	40.116
	混交林	15.430	1.652	40.636	11.199	3.533	3.704	76.153
吸收系数	松纯林	0.003	0.004	0.021	0.052	0.075	—	0.155
	混交林	0.005	0.003	0.016	0.041	0.005	—	0.070
循环系数	松纯林	0.540	0.358	0.292	0.273	0.197	0.518	0.374
	混交林	0.646	0.582	0.373	0.290	0.440	0.620	0.472
利用系数	松纯林	0.356	0.255	0.280	0.237	0.280	0.374	0.293
	混交林	0.377	0.237	0.324	0.179	0.214	0.374	0.303
周转期	松纯林	5.194	10.981	12.219	15.439	18.108	5.160	9.131
	混交林	4.108	7.263	8.266	19.291	10.615	4.317	6.995

森林生态系统营养元素生物循环的特征可以通过吸收系数、利用系数、循环系数、周转期来反映。吸收系数是指单位时间、单位面积植物体元素的年吸收量与表土库中元素量的比率。由于混交林的土壤肥力高出纯林较多,因此虽然混交林的吸收量较大,但除N元素外,其它元素的吸收系数都小于纯林。利用系数为单位时间、单位面积植物所吸收的某种元素的量与存在于植物现存量中相应元素总量之比,反映生态系统元素存贮速率的大小,该系数越大,则表明目前植物对该养分元素的贮存能力越大。纯林总的利用系数与混交林相当,各元素的利用系数差异不大,可见由于群落树种较为单一,两个群落对元素的存储能力

相似。

循环系数是元素的年归还量与年吸收量的比率,循环系数大,周转期短,说明该元素归还快,利用效率高。周转期是指植物体元素的总贮存量与年凋落物中元素量的比率,其物理意义是指植物体元素现贮存量经过多少时间可以完成一次循环。马尾松纯林各元素循环系数排序为N>S>P>Mg>Ca>K,混交林各元素循环系数排序为N>S>P>Ca>K>Mg。混交林各元素的循环系数均大于马尾松纯林,尤其是Mg、P两个元素高出123.03%,62.63%,可见马尾松林混交阔叶树增加了群落营养元素的循环能力,对提高土壤营养元素肥力,促进林木的生长起到了积极作用。

马尾松群落各营养元素的循环系数为0.19~0.45,混交林为0.30~0.56,低于鼎湖山马尾松群落(0.68~0.83)^[11]、温带油松林群落(0.28~0.49)和温带栎林群落(0.49~0.63)^[26],这与群落所处的生境有关。由于频繁的营养周转也会产生一定负面效应,即凋落物分解过程中养分淋溶加大了营养元素的流失潜力,因此增长元素周转期,减小循环效率,有益于贵州喀斯特地区植物群落适应贫瘠的土壤,多雨、潮湿的环境,防止营养元素的流失和维护生态系统的稳定。

4 结论

喀斯特地区典型马尾松纯林群落、马尾松—阔叶树混交林群落具有低生物量、低营养元素贮量的特征,但马尾松—阔叶树混交林群落的生物量、营养元素含量及贮量、凋落物量和营养元素回归量均显著大于马尾松纯林群落,可见马尾松混交阔叶树可以增加群落生物量及营养元素贮量,改善喀斯特地区由于恶劣生境导致的生态系统发育不良的现状。此外,马尾松林混交阔叶林还可以有效地提高群落营养元素循环的能力,对提高土壤肥力、减缓地表水的流失、增强水土保持和地力维持能力、促进生态系统的稳定和发展具有积极的作用。

参考文献

[1] 何太蓉,杨永兴. 三江平原湿地植物群落P, K的积累、动态及其生物循环[J]. 海洋与湖沼, 2006, 37(2):178-183.

[2] L. B. Guo, R. E. H. Sims, D. J. Horne. Biomass production and nutrient cycling in *Eucalyptus* short rotation energy forests in New Zealand[J]. *Bioresource Technology*, 2002, 85:273-283.

[3] Jian Rang Wang, Tony Letchford, Phil Comeau. Above-and below-ground biomass and nutrient distribution of a paper birch and subalpine fir mixed-species stand in the Sub-Boreal Spruce zone of British Columbia[J]. *Forest Ecology and Management*, 2000, 130:17-26.

[4] 屠玉麟,杨军. 贵州中部喀斯特灌丛群落生物量研究[J]. 中国岩溶, 1995, 14(9):199-208.

[5] 杨汉奎,程仕泽. 贵州茂兰喀斯特森林群落生物量研究[J]. 生态学报, 1991, 11(4):307-312.

[6] 王冰,杨胜天,王玉娟. 贵州省喀斯特地区植被净第一性生产力的估算[J]. 中国岩溶, 2007, 2(4):94-108.

[7] 王德炉,朱守谦,黄宝龙. 贵州喀斯特区石漠化过程中植被特征的变化[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2003, 27(3):26-30.

[8] 丁贵杰,王鹏程,严仁发. 马尾松纸浆商品用材林生物量变化规律和模型研究[J]. 林业科学, 1998, 34(1):33-41.

[9] 冯宗炜. 中国森林生态系统的生物量和生产力[M]. 北京: 科学出版社, 1999.

[10] 张希彪,上官周平. 黄土丘陵区油松人工林与天然林养分分布和生物循环比较[J]. 生态学报, 2006, 26(2):373-282.

[11] 莫江明, Sandra Brown, 孔国辉, 等. 鼎湖山马尾松林营养元素的分布和生物循环特征[J]. 生态学报, 1999, 19(5):635-640.

[12] 樊后保,李燕燕,苏兵强, 等. 马尾松—阔叶树混交异龄林生物量与生产力分配格局[J]. 生态学报, 2006, 26(8):2463-2473.

[13] 刘占民. 喀斯特石灰土—灌丛系统主要养分含量分布特征研究——以贵阳花溪杨中石灰土—灌丛系统Ca, Mg, K, P为例[D]. 中国科学院研究生院硕士学位论文. 2005.

[14] 杨昆,管东生. 林下植被的生物量分布特征及其作用[J]. 生态学杂志, 2006, 25(10):1252-1256.

[15] 李燕燕. 马尾松—阔叶树混交林生物量及矿质养分的研究[D]. 福建农林大学硕士学位论文. 2005.

[16] 罗海波,钱晓刚,刘方, 等. 喀斯特山区退耕还林(草)保持水土生态效益研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(4):31-41.

[17] 龙成昌. 贵州喀斯特石漠化地区人工群落生态系统及其养分循环研究——以花江峡谷地区顶坛花椒群落为例[D]. 贵州师范大学硕士学位论文. 2005.

[18] MacLean D A, Wein T P. Litter production and forest floor nutrient dynamics in pine and hardwood stands of New-Brunswick[J]. *Canada. Hol Ecol*, 1978, 1:1-15.

[19] 姚瑞玲,丁贵杰. 不同密度马尾松人工林凋落物及养分归还量的年变化特征[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2006, 30(5):83-86.

[20] Woodwell G M, Wittaker R H, Houghton R A. Nutrient concentration in plants in the Brackhaven, Oak-Pine forest[J]. *Ecology*, 1975, 56(2):318-322.

[21] 杨玉盛,林勇,郭剑芬. 格氏栲天然林与人工林凋落物数量、养分归还及凋落叶分解[J]. 生态学报, 2003, 23(7):1278-1289.

[22] 罗辑,程根伟,李伟. 贡嘎山天然林营养元素生物循环特征[J]. 北京林业大学学报2005(2):13-17.

[23] 钟继洪,李淑仪,蓝佩玲. 刚果按人工林营养元素生物循环研究[J]. 水土保持学报, 2004, 18(6):45-62.

[24] Potter C S. Stemflow nutrient inputs to soil in a successional hardwood forest[J]. *Plant and Soil*. 1992, 140:249-254.

[25] 刘世海,薛智德,余新晓, 等. 密云水库北京集水区刺槐水源保护林主要营养元素的生物循环[J]. 水土保持学报, 2003, 16(3):12-15.

[26] 张希彪,上官周平. 黄土丘陵区主要林分生物量及营养元素生物循环特征[J]. 生态学报, 2005, 25(3):528-573.

[27] 秦武明,何斌,覃世斌, 等. 厚荚相思人工林营养元素生物循环的研究[J]. 水土保持学报, 2007, 21(8):103-107.

**Biological cycling of nutrients in Pinus forest and
Pinus - Hardwood mixed forest in karst area
— A case study in Longli, Guizhou**

LI Qian^{1,2}, YANG Sheng-tian², SHENG Hao-ran^{3,2},
SHENG Yan⁴, LI Wei⁵, LI Shun-jiang⁵

(1. China National Environmental Monitoring Center, Beijing 100012, China; 2. State Key Laboratory of Remote Sensing Science, School of Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 3. Linktech navi technology, Beijing 100022, China; 4. School of Environment, Renmin University of China, Beijing 100872, China; 5. State Key Laboratory of Water Environment Simulation, School of Environment, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: The standing biomass, the accumulation, distribution and biological cycling of nutrients in pure Pinus forest and in Pinus - Hardwood mixed forest are studied in Longli karst area. The results show that the total biomass is 40.62 t/hm² in pure forest, 48.32 t/hm² in mixed forest respectively. The biomass in arbor layer of the mixed forest is 18.97% higher than that in the pure forest, and the biomass in root of the mixed forest is 65.12% higher than that in the pure forest. The contents of nutrient elements in most organs in arbor layer of the mixed forest are higher than that in Pinus forest, and the contents of N, P, K, S of various organs in the two forests show the following orders: leaves > roots > stocks > woods. The accumulative amounts of the six elements in arbor layer of the mixed forest are 47.97%~197.67% higher than those in arbor layer of Pinus forest. The accumulative amounts of the six elements in litter layer of the mixed forest are 85.40%~318.301% higher than those in pure forest. The amounts of annual assimilation, annual returning, annual retention, and cycling coefficients of nutrient elements in the mixed forest are all higher than those in pure forest. Planting hardwoods in pure Pinus forest can effectively enhance the biomass and nutrient cycling ability in the community.

Key words: nutrient cycling; Pinus forest; Pinus - Hardwood mixed forest; nutrient cycling; karst area; Longli, Guizhou