

贵州喀斯特山区植物营养元素含量特征

杨成^{1,2}, 刘丛强¹, 宋照亮³, 刘占民^{1,2}

1. 中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100039; 3. 浙江林学院, 浙江 临安 311300

摘要: 贵州喀斯特山区是我国乃至世界喀斯特分布面积最大的片区之一, 由于其生态系统的脆弱性, 加之人类活动的干扰, 使得该区的植被退化较为严重。文章选择该区的 12 种主要植物作为研究对象, 对其营养元素进行了研究。结果表明: $>1\ 000\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 的元素有 N、P、K、Ca、Mg、S, $100\sim 1\ 000\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 的元素有 Fe、Mn、Al, $10\sim 100\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 的元素有 Zn、Sr, $<10\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 的元素为 Cu、Mo, 其中 Mo 含量最低, 仅为 $0.17\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 。这些元素中, Ca、P、K 元素高于所报道的陆生植物的含量范围。元素含量特点是 $\text{Ca}>\text{K}>\text{Mg}$ 型。N、P、K、Mg 元素的频数分布为正态分布, Ca、Al、Fe、Mn、Cu、Zn、Sr、S 元素为对数正态分布。变异系数大于 100% 的元素有 Al、Fe、Mn、Sr, 变异系数小于 60% 的元素有 N、P、K、Ca、Mg、S、Cu, 其中 Ca 的变异系数最小, 仅为 11.8%。不同生境下相同植物的营养元素含量有较大的差异, 石灰土上植物的 N、P、K、Ca、Mg、Al、Cu、Mo 元素含量要高于黄壤上植物的。元素间的相关分析表明: P 和 K、P 和 Cu、Al 和 Fe、Al 和 Zn、Fe 和 Zn 元素具有显著相关关系; N 和 P、P 和 Mg、K 和 Al、K 和 Cu、Ca 和 Sr、S 和 Mo 元素具有一般相关关系。

关键词: 喀斯特山区; 植物; 营养元素; 贵州

中图分类号: S158.3

文献标识码: A

文章编号: 1672-2175 (2007) 02-0503-06

营养元素的含量状况在植物生长和发育过程中起着重要的作用, 因而受到众多研究者, 如 Hagen-Thotrn A、Xu Xinjian 等^[1-8] 的关注。然而, 不同的地质背景下, 土壤的 pH 值、营养元素的含量及植物可利用性不同, 因而植物的生长及其营养元素含量特征不同。喀斯特环境占地球总面积的 10%^[9], 是一类发育在碳酸盐岩等可溶性岩石上的环境系统, 具有土壤浅薄、土壤 pH 值高、土壤-植被系统钙和镁含量高、生态系统脆弱等特征^[10-15]。对喀斯特山区植物的营养元素含量状况进行研究, 一方面可为喀斯特山区植被的施肥策略的制订提供依据, 另一方面可为喀斯特山区生态系统的保护提供参考。目前, 对喀斯特山区植被的研究虽然开展了不少的工作, 但主要集中于宏观上的实地调查等方面^[16-20], 从微观的角度对植物的营养元素进行研究仅有零星报道^[21,22]。

贵州省碳酸盐岩出露面积达 $13\times 10^4\ \text{km}^2$, 占全省土地总面积的 73.8%, 全省 95% 的县(市) 都有喀斯特分布, 是我国乃至世界喀斯特发育最典型、最复杂、分布面积最大的片区之一^[9]。本文以贵州喀斯特山区为例, 对该区植物的营养元素进行了研究, 并从数理统计的角度对植物营养元素进行了统计分析, 为贵州喀斯特山区森林、植被的治理、恢复以及生态系统的保护提供科学依据。

1 研究区域概况

研究地点位于贵州省贵阳市郊花溪杨中小流域, 海拔 1 100~1 300 m, 属于亚热带湿润气候, 年降水量为 900~1 400 mm (平均为 1 100 mm), 年均气温 9~17 °C, 土壤为石灰土。本区属于典型喀斯特灌丛, 灌木植物主要有檵木 (*Loropetalum chinense*)、毛黄栌 (*Cotinus coggygia* var. *pubescens*)、金佛山茛苕 (*Viburnum jinfoshanensis*)、铁仔 (*Myrsine africana*)、火棘 (*Pyracantha fortuneana*)、白木通 (*Akebia trifoliata* var. *australis*)、毛叶木姜子 (*Litsea mollifolia*)、云南鼠刺 (*Itea yunnanensis*)、竹叶椒 (*Zanthoxylum planispinum*)、直角茛苕 (*Viburnum foetidum* var. *rectangulatum*)、圆果化香 (*Platycarya longipes*)、盐肤木 (*Rhus chinensis*)、合欢 (*Albizia julibrissin*)、响叶杨 (*Populus adenopoda*)、铜叶胡颓子 (*Elaeagnus cuprea*)、马桑 (*Coriaria sinica*) 等; 藤本植物主要有金银花 (*Lonicera japonica*)、香花崖豆藤 (*Millettia dielsiana*)、藤黄檀 (*Dalbergia hancei*)、飞龙掌血 (*Toddalia asiatica*)、防己 (青藤) (*Sinomenium acutum* (Thunb) Rehd.etwils)、薯蓣 (*Dioscorea kamoensis*)、三叶木通 (*Akebia quinata*) 等; 草本层主要有渐尖毛蕨 (*Cyclosorus acuminatus*)、凤尾蕨 (*Pteris nervosa*)、苔草 (*Carex*

基金项目: 国家“973”重点基础研究发展计划项目 (2006CB403200); 中国科学院重要方向项目 (KZCX3-SW-140); 中国科学院知识创新工程项目 (KZCX2-105)

作者简介: 杨成 (1979 -), 男 (苗族), 博士研究生, 研究方向为环境地球化学, 目前从事植物营养元素研究。E-mail: yang-cheng513@163.com

收稿日期: 2006-09-15

sp)、芒 (*Miscanthus sinensis*)、箭叶淫羊藿 (*Epimedium sagittatum*)、蕨 (*Pteridium aquilinum var. latiusculum*) 等,同时还分布得有苔藓 (*Moss*)。对照点为距贵阳市约 20 km 的贵州龙里县郊把小流域,土壤为酸性黄壤,土层深厚、质地粘重。该区乔木层植物以马尾松 (*Pinus massoniana*)、光皮桦 (*Betula lumifera*)、槲木 (*Aralia chinensis*) 和响叶杨占优势;灌木层主要以大叶胡枝子 (*Lespedeza davidii*)、盐肤木、马桑、粉枝梅、山合欢 (*Albizia kalkora*)、直角莢蒾、火棘等;草本层以芒、渐尖毛蕨、蕨等为主。

2 研究方法

2.1 样品采集

采集了花溪杨中小流域上生长的灌木、藤本、草本、苔藓的 12 种主要代表性植物:盐肤木、火棘、马桑、毛黄栌、圆果化香、云南鼠刺、直角莢蒾、蕨、渐尖毛蕨、香花崖豆藤、防己(青藤)、苔藓的叶片作为研究对象。另在把小流域采集与杨中树龄接近的 5 种植物:火棘、盐肤木、蕨、渐尖毛蕨、马桑作对比。其中每一树种采集 5 个单独样作为该树种样,共采集 85 个植物样品。土壤样品在杨中和把小各采集 4 个典型的表层土壤(0~10 cm)代表该研究点土壤基本性质。植物样品采回后,先用自来水冲洗,然后用去离子水冲洗干净,置于烘箱中 70 °C 下烘干,用小型不锈钢粉碎机粉碎后,样品包装于密封袋内,供分析测试用。土壤样品采回后,先清除杂物、风干,过 20 目筛后一部分用于测定 pH 值,剩余样品用玛瑙研钵磨至 200 目以下,密封保存供分析用。

2.2 样品分析

植物、土壤样品用 $\text{HNO}_3 + \text{HF}$ 消解后,用 ICP-OES 测定,N、S 元素用元素分析仪(PE 2400-II)测定。

3 结果与分析

3.1 植物营养元素含量特征

3.1.1 营养元素含量水平

从表1可看出12种植物中13个营养元素的含量水平。平均含量大于 $1000 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 的元素有6个,即N、P、K、Ca、Mg、S,从大到小的含量顺序为 $\text{N} > \text{Ca} > \text{K} > \text{S} > \text{Mg} > \text{P}$ 。平均含量大于 $100 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 小于 $1000 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 的元素有Fe、Mn、Al,从大到小的顺序为 $\text{Al} > \text{Fe} > \text{Mn}$ 。平均含量在 $10 \sim 100 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 间的元素有Zn、Sr,顺序为 $\text{Zn} > \text{Sr}$ 。小于 $10 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 的元素是Cu和Mo,其中Mo含量仅为 $0.17 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 。这些元素中,Ca、P、K元素平均含量高于所报道的陆生植物的含量^[6,23,24],其中Ca高出4倍。从整体上看,贵州喀斯特山区的植物营养元素含量特点是 $\text{Ca} > \text{K} > \text{Mg}$ 型,和周运超、贺金生^[21,25]的研究结果相同。尽管在其它非喀斯特地区^[6]也得出 $\text{Ca} > \text{K} > \text{Mg}$ 的结果,但本研究区的12种植物中,所有植物的Ca含量都高于 $10000 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 。周运超^[21]研究的30种喀斯特区植物中,86%以上的植物的Ca含量也高于 $10000 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 。而其它地区,如新疆乌鲁木齐河源区的35种高寒冰缘植物中,只有29%的植物的Ca元素含量高于 $10000 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 。说明喀斯特山区植被具有与其它地区显著差异的特征即植物高钙的特征。

3.1.2 营养元素含量的分布状态

图1(下页)为贵州喀斯特山区的12种植物的部分元素含量频数分布图,从图中可看出N、P、K、Mg呈正态分布,Ca、Fe、Cu、Zn呈对数正态分布,Al、Mn、Sr、S也为对数正态分布。其中P、K、Al、Mn的分布状态与贺金生^[25]报道的相同,其它元素则不同。

3.1.3 营养元素含量的变异

从表1中元素变异系数看,变异系数大于100%的元素有Al、Fe、Mn、Sr,其中Al最大含量是最

表1 贵州喀斯特山区12种主要植物的营养元素含量

Table 1 Summary statistics of the nutrient element contents ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, in DW) in 12 main plant species collected from Guizhou karst mountainous area

元素	最大值	最小值	中值	平均值	标准偏差	变异系数/%
N	29 770.00	11 480.00	20 410.00	20 227.59	3 878.72	19.2
P	3 562.80	548.11	1 610.95	1 633.86	661.77	40.5
K	15 945.00	854.78	8 067.95	8 265.65	3 852.79	46.6
Ca	21 142.00	11 800.00	19 587.50	18 749.02	2 212.18	11.8
Mg	5 993.00	2 389.00	4 276.55	4 269.98	875.48	20.5
Al	3 412.60	76.71	129.20	282.90	514.57	181.9
S	13 120.00	4 190.00	5 630.00	6 076.90	1 804.76	29.7
Fe	1 951.80	69.36	126.59	208.76	293.56	140.6
Mn	591.01	26.11	78.14	134.30	142.50	106.1
Cu	17.60	4.28	9.03	9.01	2.74	30.5
Zn	110.27	9.20	29.23	35.98	22.47	62.4
Mo	0.55	0.01	0.11	0.17	0.15	84.9
Sr	154.10	5.10	17.09	26.67	29.79	111.7

$\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, 以干基质量计

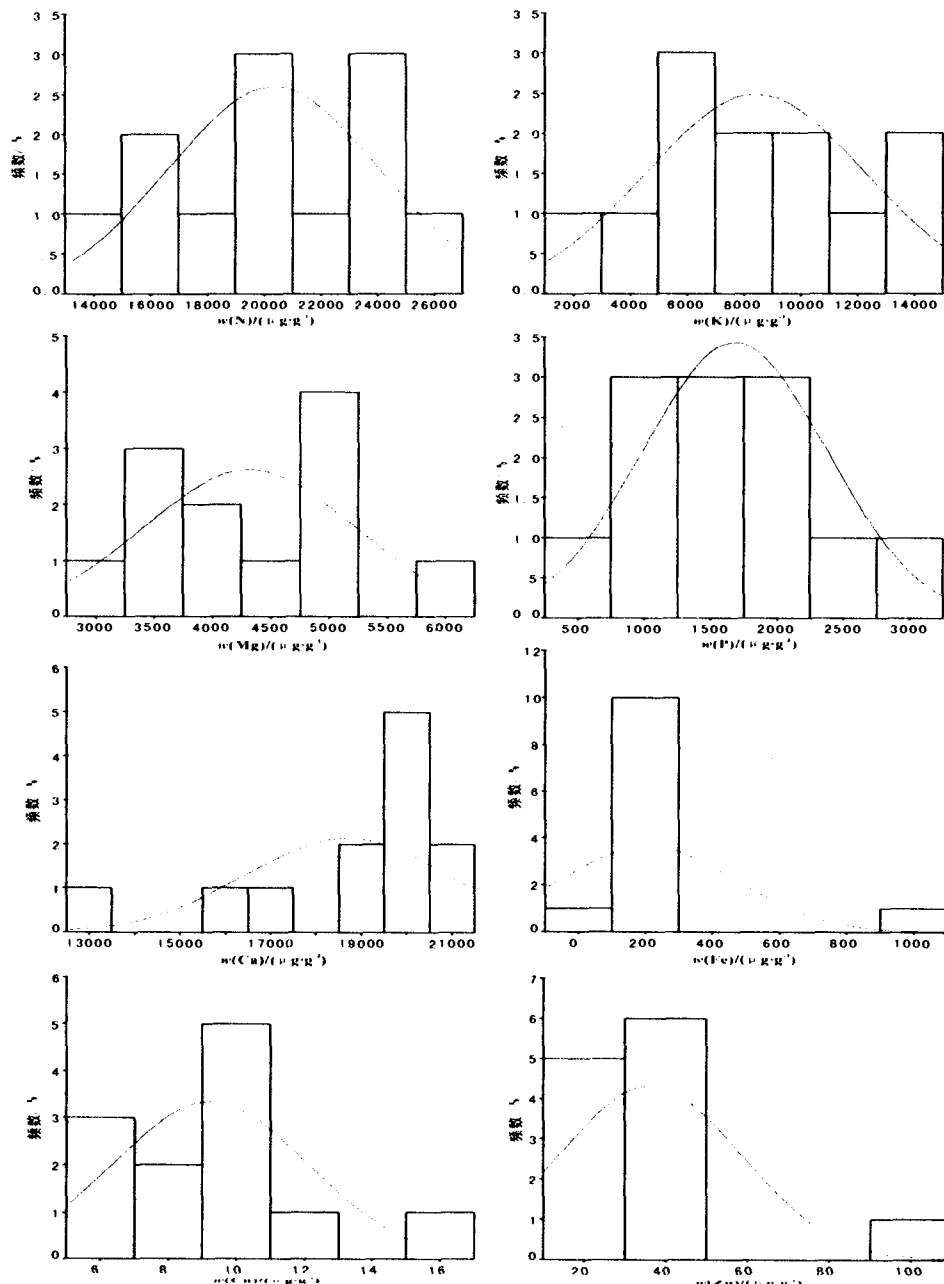


图 1 植物中几种元素含量的频数分布

Fig. 1 Frequency distributions of some nutrient elements in the 12 plant species

小含量的 44 倍, Fe 为 28 倍, Mn 为 23 倍, Sr 为 30 倍。变异系数小于 60% 的元素有 N、P、K、Ca、Mg、S、Cu, 其中 Ca 的变异系数最小, 为 11.8%。

3.1.4 不同生境下植物营养元素含量特征

植物的生长跟其存在的环境密切相关, 不同的生境对植物体中的营养元素有着一定的影响^[26-30]。表 2 为把关 (地点 1) 和杨中 (地点 2) 两个采样点的基本情况表。由表 2、表 3 可看出, 相同的植物种在不同的生境下其营养元素含量存在差异。石灰土上植物的 N、P、K、Ca、Mg、Al、Cu、Mo 元素含量要高于黄壤上的植物。这些元素含量差异在 2 倍

以内, 其中差异最大的是 Al 元素, 达到 1.5 倍, 其它元素则在 1 倍左右。周运超^[21]也得出喀斯特区植物的 Ca、Mg 元素要比酸性土壤上植物的高。而黄壤上植物的 S、Fe、Mn、Zn、Sr 元素要高于石灰土上的植物。其中, Mn 元素的差异较大, 为 2.1 倍, Sr 元素为 1.4 倍, 其它元素差异在 1 倍左右。

3.2 植物中营养元素的相互关系

3.2.1 元素含量间的比值

元素对植物表现为拮抗和协同两方面的作用, 元素间的比值可反映其作用关系。Koerselman^[31]和管东生^[24]指出: $w(N)/w(P)$ 比大于 16 时, 说明植物

表2 采样点基本情况
Table 2 The basic conditions of sampling sites

地点	基岩类型	土壤类型	pH	w/%									w/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)		
				N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	Cu	Zn	Mo
1	硅质岩	黄壤	4.2-4.5	0.22	0.34	0.33	0.27	0.04	0.20	5.73	4.42	0.09	18.07	189.05	2.18
2	石灰岩	石灰土	6.1-6.5	0.55	0.49	0.37	3.45	0.11	0.91	15.97	4.70	0.15	15.21	139.07	0.86

表3 不同生境下植物营养元素含量

Table 3 The nutrient element contents of plants in different habitats
 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, 以干基质量计

元素	不同生境			
	黄壤上的植物		石灰土上的植物	
	植物种数	平均含量	植物种数	平均含量
N	5	19 655.00	12	19 993.91
P	5	1 775.30	12	1 931.29
K	5	8 764.61	12	9 463.11
Ca	5	16 841.06	12	17 939.83
Mg	5	4 553.79	12	4 829.29
Al	5	106.00	12	155.01
S	5	5 612.08	12	5 340.44
Fe	5	129.94	12	117.75
Mn	5	177.31	12	83.61
Cu	5	8.71	12	9.16
Zn	5	30.77	12	28.04
Mo	5	0.09	12	0.10
Sr	5	50.53	12	37.41

的生长受到 P 含量的限制; $w(\text{N})/w(\text{P})$ 小于 14 时, 植物生长受到 N 含量的限制; $w(\text{N})/w(\text{P})$ 比在 14 至 16 之间时, N 与 P 单独或共同影响植物的生长。由表 4 可看出: 除了马桑、圆果化香、香花崖豆藤、苔藓的 $w(\text{N})/w(\text{P})$ 大于 16 外, 其余植物的 $w(\text{N})/w(\text{P})$ 小于 14, 属于 N 制约型植物。此外, 从 $w(\text{N})/w(\text{P})$ 、 $w(\text{Ca})/w(\text{Mg})$ 、 $w(\text{Ca})/w(\text{K})$ 、 $w(\text{K})/w(\text{Mg})$ 的比值可看出, 尽管不同植物间元素含量的比值存在差异, 但变异系数都还是比较小的, 说明这些元素间基本上是比较协调的。

3.2.2 元素间的相关性分析

从表5中可以看出贵州喀斯特山区12种植物13个元素之间的相互关系。元素间具有显著相关关系 ($P \leq 0.01$) 的有5对, 即P和K、P和Cu、Al和Fe、Al

和Zn、Fe和Zn; 具有一般相关关系 ($P \leq 0.05$) 的元素有6对, 为N和P、P和Mg、K和Al、K和Cu、Ca和Sr、S和Mo。其它元素则没有相关关系。这和其它地区元素之间的关系有些是一致的^[25,32], 如Al元素和Fe元素、Fe和Zn元素, 有些元素则不一样, 如Mg元素和Ca元素、Mg和K、Fe和Cu等在海南热带植物^[24]中表现出了极显著的相关, 而在长江三峡地区^[25]及本研究区则不相关。

4 结论

本研究区植物中营养元素含量大于 1 000 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 的有 N、P、K、Ca、Mg、S 元素, 100~1 000 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 的有 Fe、Mn、Al 元素, 10~100 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 的有 Zn、Sr 元素, 小于 10 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 的有 Cu 和 Mo 元素 (Mo 的含量仅为 0.17 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)。这些元素中, N、P、K、Mg 呈正态分布, Ca、Al、Fe、Mn、Cu、Zn、Sr、S 元素呈对数正态分布; Al、Fe、Mn、Sr 元素的变异系数大于 100%, N、P、K、Ca、Mg、S、Cu 元素的变异系数小于 60%, 其中 Ca 元素的变异系数最小 (为 11.8%); P 和 K、P 和 Cu、Al 和 Fe、Al 和 Zn、Fe 和 Zn 元素具有显著相关关系, N 和 P、P 和 Mg、K 和 Al、K 和 Cu、Ca 和 Sr、S 和 Mo 元素具有一般相关关系, 其它元素则没有相关关系。此外, 元素间的比值表明除了马桑、圆果化香、香花崖豆藤、苔藓外, 其余植物属于 N 制约型植物, 尽管不同植物间元素含量的比值存在差异, 但变异系数都还较小, 说明元素间基本上是比较协调的。该区植物的 Ca、P、K 元素高于所报道的陆生植物的含量范围, 营养元素含量特点具有 $\text{Ca} > \text{K} > \text{Mg}$ 型; 不同生境下的植物其营养元素存在差异, 石灰土上植物的 N、P、K、Ca、Mg、Al、Cu、Mo 元素含量要高于黄壤上植物的, 而其它元素则低于黄壤上植物的。

表4 贵州喀斯特区 12 种植物中几种元素间含量的比值

Table 4 The ratios of nutrient element contents in 12 plant species in Guizhou karst mountainous area

比值	Pte	Cyc	Rhu	Pyr	Cor	Cot	Pla	Ite	Vib	Mil	Sin	Mos	平均值	变异系数/%
$w(\text{N})/w(\text{P})$	7.61	7.58	12.04	12.43	16.15	13.76	18.04	13.21	10.36	16.22	11.46	23.92	13.56	33.8
$w(\text{Ca})/w(\text{Mg})$	2.70	2.90	3.80	5.55	3.88	4.74	4.58	5.57	3.73	5.02	6.16	5.68	4.52	25.0
$w(\text{Ca})/w(\text{K})$	1.00	1.31	2.04	2.37	4.44	3.42	2.93	3.35	1.81	2.72	1.44	9.44	3.02	74.7
$w(\text{K})/w(\text{Mg})$	2.73	2.21	1.86	2.34	0.87	1.39	1.56	1.66	2.06	1.84	4.28	0.60	1.95	48.4

Pte: 蕨; Cyc: 渐尖毛蕨; Rhu: 盐肤木; Pyr: 火棘; Cor: 马桑; Cot: 毛黄栌; Pla: 圆果化香; Ite: 云南鼠刺; Vib: 直角荚蒾; Mil: 香花崖豆藤; Sin: 防己(青藤); Mos: 苔藓

表5 贵州喀斯特区12种植物营养元素之间的相互关系

Table 5 Correlations between the nutrient elements in the 12 plant species in Guizhou karst mountainous area

统计因子	N	P	K	Ca	Mg	Al	S	Fe	Mn	Cu	Zn	Mo	Sr
N	1												
P	0.582*	1											
K	0.409	0.837**	1										
Ca	0.051	-0.411	-0.161	1									
Mg	0.405	0.671*	0.427	-0.157	1								
Al	-0.363	-0.496	-0.596*	-0.354	-0.506	1							
S	0.259	0.139	0.532	0.347	-0.326	-0.171	1						
Fe	-3.000	-0.443	-0.559	-0.360	-0.511	0.990**	-0.152	1					
Mn	0.273	-0.261	-0.296	0.195	-0.205	0.011	-0.076	0.030	1				
Cu	0.531	0.719**	0.660*	-0.089	0.344	-0.397	0.228	-0.313	-0.157	1			
Zn	-0.353	-0.301	-0.459	-0.414	-0.468	0.896**	-0.195	0.933**	-0.037	-0.248	1		
Mo	0.287	0.004	0.183	0.126	-0.322	0.338	0.680*	0.369	0.254	0.009	0.321	1	
Sr	-0.114	0.327	0.418	-0.662*	0.079	-0.159	-0.032	-0.180	-0.236	-0.005	-0.162	-0.285	1

* $P \leq 0.05$, ** $P \leq 0.01$

参考文献:

- [1] HAGEN-THOTRN A, STJERNQUIST I. Micronutrient levels in some temperate European tree species: a comparative field study[J]. *Tree*, 2005, 19: 572-579.
- [2] XU X J, TIMMER V R. Biomass and nutrient dynamics of Chinese fir seedlings under conventional and exponential fertilization regimes[J]. *Plant and Soil*, 1998, 203: 313-322.
- [3] BURNS I G, WALKER R L, MOORBY J. How do nutrients drive growth[J]. *Plant and Soil*, 1997, 196: 321-325.
- [4] KAZDA M, SALZER J, SCHMID I, et al. Importance of mineral nutrition for photosynthesis and growth of *Quercus petraea*, *Fagus sylvatica* and *Acer pseudoplatanus* planted under Norway spruce canopy[J]. *Plant and Soil*, 2004, 264: 25-34.
- [5] ARES A, FALCAO N, YUYAMA K, et al. Response to fertilization and nutrient deficiency diagnostics in peach palm in central Amazonia[J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2003, 66: 221-232.
- [6] 安黎哲, 刘艳红, 冯虎元, 等. 乌鲁木齐河源区高寒冰缘植物化学元素的含量特征[J]. *西北植物学报*, 2000, 20(6): 1063-1069.
- AN Lizhe, LIU Yanhong, FENG Huyuan, et al. Studies on the characteristics of element contents of alitrigetic subnival vegetation at the source area of Urumqi River[J]. *Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica*, 2000, 20(6): 1063-1069.
- [7] 刘广全, 土小宁, 赵士洞, 等. 秦岭松栎林带生物量及其营养元素分布特征[J]. *林业科学*, 2001, 37(1): 28-36.
- LIU Guangquan, TU Xiaoning, ZHAO Shidong, et al. Distributional characteristics on biomass and nutrient elements of pine-oak forest belt in Mt. Qinling[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2001, 37(1): 28-36.
- [8] 刘茜. 马尾松幼龄林营养元素含量与分布的研究. *贵州林业科技*, 1996, 24(3): 45-52.
- LIU Qian. Contents and distributions of nutrient elements of young *pinus massoniana* forest[J]. *Guizhou Forest Science and Technology*, 1996, 24(3): 45-52.
- [9] 高贵龙, 邓自民, 熊康宁, 等. 喀斯特的呼唤与希望[M]. 贵阳: 贵州科技出版社, 2003: 1-7.
- GAO Guilong, DENG Zimin, XIONG Kangning, et al. Voice and Hope in Karst Region[M]. Guiyang: Guizhou Publishing House of Science and Technology, 2003: 1-7.
- [10] 李阳兵, 王世杰, 谢德体, 等. 西南岩溶山区景观生态特征与景观生态建设[J]. *生态环境*, 2004, 13(4): 702-706.
- LI Yangbing, WANG Shijie, XIE Deti, et al. Landscape ecological characteristics and ecological construction of karst mountain areas in southwest China. *Ecology and Environment*, 2004, 13(4): 702-706.
- [11] 李先琨, 何成新, 蒋忠诚. 岩溶脆弱生态区生态恢复、重建的原理与方法[J]. *中国岩溶*, 2003, 22(1): 12-17.
- LI Xiankun, HE Chengxin, JIANG Zhongcheng. Method and principles of ecological rehabilitation and reconstruction in fragile karst ecosystem[J]. *Carsologica Sinica*, 2003, 22(1): 12-17.
- [12] 解明曦, 张学俭, 牛崇桓, 等. 中国南方岩溶区生态环境建设对策研究[J]. *中国水土保持*, 2004, 2: 6-8.
- XIE Mingshu, ZHANG Xuejian, NIU Chonghuan, et al. Research on strategy of restoration of ecological environment of karst areas in south of China[J]. *Soil and Water Conservation in China*, 2004, 2: 6-8.
- [13] 苏维词, 朱文孝, 腾建珍. 喀斯特峡谷石漠化地区生态重建模式及其效应[J]. *生态环境*, 2004, 13(1): 57-60.
- SU Weici, ZHU Wenxiao, TENG Jianzhen. Eco-controlling models of rocky desertification in karst gorge region of Xingbei town in Guizhou province and its effects[J]. *Ecology and Environment*, 2004, 13(1): 57-60.
- [14] 王世杰. 喀斯特石漠化—中国西南最严重的生态地质环境问题[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2003, 22(2): 120-126.
- WANG Shijie. The most serious eco-geologically environmental problem in south western China—karst rocky desertification[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2003, 22(2): 120-126.
- [15] 袁菊, 刘元生, 何腾兵. 贵州喀斯特生态脆弱区土壤质量退化分析[J]. *山地农业生物学报*, 2004, 23(3): 230-233.
- YUAN Ju, LIU Yuansheng, HE Tengbing. Analysis of the soil quality deterioration of vulnerable karst ecological region in Guizhou[J]. *Journal of Mountain Agriculture and Biology*, 2004, 23(3): 230-233.
- [16] 侯满福, 蒋忠诚. 茂兰喀斯特原生林不同地球化学环境的植物物种多样性[J]. *生态环境*, 2006, 15(3): 572-576.
- HOU Manfu, JIANG Zhongcheng. Species diversity of karst original forest in different geochemical environments in Maolan[J]. *Ecology and Environment*, 2006, 15(3): 572-576.
- [17] 徐军. 贵州紫云典型喀斯特峰丛洼地植物群落的种群分析[J]. *贵州林业科技*, 2001, 29(1): 12-17.
- XU Jun. Analysis of the species group of typical karst peak-cluster depression vegetation community in Ziyun of Guizhou[J]. *Journal of Guizhou Forestry Science and Technology*, 2001, 29(1): 12-17.
- [18] 谢双喜, 丁贵杰, 刘官浩. 贵州贞丰县兴北喀斯特森林植被的调查分析[J]. *浙江林业科技*, 2001, 21(5): 63-67.
- XIE Shuangxi, DING Guijie, LIU Guan hao. Investigation on karst

- forest vegetation in Xingbei of Zhenfeng county, Guizhou[J]. Journal of Zhejiang Forestry Science and Technology, 2001, 21(5): 63-67.
- [19] 莫非, 陈训. 贵州花江典型喀斯特峡谷天然灌丛植被的调查与分析[J]. 贵州科学, 2004, 22(3): 83-85.
MO Fei, CHEN Xun. The investigation and analysis on natural brush in Huajiang karst gorge, Guizhou[J]. Guizhou Science, 2004, 22(3): 83-85.
- [20] 杨瑞, 喻理飞. 黔中退化喀斯特森林恢复过程中早期群落结构分析[J]. 贵州科学, 2004, 22(3): 44-47.
YANG Rui, YU Lifei. Study on structure of primary stages community in restoration process of degraded karst forest community in central Guizhou[J]. Guizhou Science, 22(3): 44-47.
- [21] 周运超. 贵州喀斯特植被主要营养元素含量分析[J]. 贵州农学院学报, 1997, 16(1): 11-16.
ZHOU Yunchao. Study on the part plants' main nutrient elements content of Guizhou karst region[J]. Journal of Guizhou Agricultural College, 1997, 16(1): 11-16.
- [22] 朴河春, 刘丛强, 朱书法, 等. 贵州石灰岩和砂岩地区 C_4 和 C_3 植物营养元素的化学计量对 N/P 比值波动的影响[J]. 第四纪研究, 2005, 25(5): 552-559.
PIAO Hechun, LIU Congqiang, ZHU Shufa, et al. Variations of C_4 and C_3 plant N: P ratios influenced by nutrient stoichiometry in limestone and sandstone areas of Guizhou[J]. Quaternary Sciences, 2005, 25(5): 552-559.
- [23] 侯学煜. 中国植被地理及优势植物化学成分[M]. 北京: 科学出版社, 1982: 1-418
HOU Xueyu. Vegetational Geography and Chemical Constituents of Dominant Plant in China[M]. Beijing: Science publishing house, 1982: 1-418
- [24] 管东生, 罗琳. 海南热带植物叶片化学元素含量特征[J]. 林业科学, 2003, 39(2): 28-32.
GUAN Dongsheng, LUO Lin. Chemical element concentrations of tropical plant leaves in Hainan province[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2003, 39(2): 28-32.
- [25] 贺金生, 陈伟烈, 王其兵. 长江三峡地区优势植物的化学元素含量特征[J]. 植物学报, 1998, 40(5): 453-460.
HE Jinsheng, CHEN Weilie, WANG Qibing. Studies on the characteristics of element contents in the dominant plant species of the Three-Gorges Region in China[J]. Acta Botanica Sinica, 1998, 40(5): 453-460.
- [26] DEFRANCA E J, DE NADAI FERNANDES E A, BACCHI M A, et al. Inorganic chemical composition of native trees of the Atlantic forest[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2005, 102: 349-357.
- [27] KOYRO H W. Effect of salinity on growth, photosynthesis, water relations and solute composition of the potential cash crop halophyte *Plantago coronopus*(L.)[J]. Environment and Experimental Botany, 2006, 56: 136-146.
- [28] FERNA' NDEZ M, NOVILLO C, PARDOS J A. Effects of water and nutrient availability in *Pinus pinaster* Ait. open pollinated families at an early age: growth, gas exchange and water relations[J]. New Forests, 2006, 31: 321-342.
- [29] PURI S, SWAMY S L. Growth and biomass production in *Azadirachta indica* seedlings in response to nutrients (N and P) and moisture stress[J]. Agroforestry Systems, 2001, 51: 57-68.
- [30] VANGUELOVA E I, NORTCLIFF S, MOFFAT A J, et al. Morphology, biomass and nutrient status of fine roots of Scots pine (*Pinus sylvestris*) as influenced by seasonal fluctuations in soil moisture and soil solution chemistry[J]. Plant and Soil, 2005, 270: 233-247.
- [31] KOERSELMAN W, MEULEMAN A F M. The vegetation N: P ratio: a new tool to detect the nature of nutrient limitation[J]. Journal of Applied Ecology, 1996, 33: 1441-1450.
- [32] 殷彩霞, 周纪勤, 彭莉. 昆明西山植物微量元素主成分分析[J]. 广东微量元素科学, 1999, 11(6): 29-32.
YIN Caixia, ZHOU Jiqin, PENG Li. The principal component analysis of trace elemental content on plants from western hill of Kunming[J]. Guangdong Trace Elements Science, 1999, 11(6): 29-32.

Characteristics of the nutrient element contents in plants from Guizhou karst mountainous area of China

YANG Cheng^{1,2}, LIU Congqiang¹, SONG Zhaoliang³, LIU Zhanmin^{1,2}

1. State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China;

2. Graduate University, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China; 3. Zhejiang College of Forestry, Linan 311300, China

Abstract: Developed in Guizhou is the largest karst mountainous area in China, even throughout the world. The vulnerability of its ecosystem and the interference of human activities have led to serious degradation of vegetation in this area. In this paper we selected 12 main plant species from this area as the subject of study, and examined their nutrient elements. The results showed that the contents of N, P, K, Ca, Mg and S are greater than $1\ 000\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$; those of Fe, Mn and Al vary between 100 and $1\ 000\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$; those of Zn and Sr are within the range of $10\sim 100\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$; and those of Cu and Mo are lower than $10\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. The content of Mo is lowest (only $0.17\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). The contents of Ca, P and K are higher than those of the terrestrial plants so far reported. The element contents are characterized as being of "Ca>K>Mg" type. The elements K, Mg, N and P are of normal distribution, while the elements Ca, Al, Fe, Mn, Cu, Zn, Sr and S are of lognormal distribution. The coefficients of variation (C.V.) are >100% for Al, Fe, Mn and Sr; <60% for N, P, K, Ca, Mg, S and Cu; and 11.8% (the lowest value) for Ca, respectively. The nutrient element contents of the same plant in different habitats show great differences. The contents of N, P, K, Ca, Mg, Al, Cu and Mo in the plants growing in lime soil are higher than in yellow soil. Correlation analysis indicates that there are obvious correlations between P and K, P and Cu, Al and Fe, Al and Zn, Fe and Zn; while general correlations between N and P, P and Mg, K and Al, K and Cu, Ca and Sr, and S and Mo.

Key words: karst mountainous area; plants; nutrient elements; Guizhou province