

Characteristics of Nutrient Absorption in *Nyssa sinensis*, *Phoebe bournei* and *Choerospondias axillaris* from Xiangxi*

Qin Zeng¹, Jinhua Li², Zhihui Li^{1#}, Wengui Ge¹, Shengzhi Yang³

¹Central South University of Forestry and Technology, Changsha

²National Forestry Bureau, Beijing

³Xiangxi Forest Ecological Research Station of Hunan Province, Xiangxi

Email: lzh1957@126.com

Received: Feb. 22nd, 2013; revised: Feb. 24th, 2013; accepted: Mar. 12th, 2013

Abstract: The nutrient elements of *Nyssa sinensis*, *Phoebe bournei* and *Choerospondias axillaris* from Xiangxi Ecology Station were investigated in this study. The results showed that the nutrient contents in the organs of three trees were leaf > bark > twig > root > trunk. The absorption of nutrient elements in the leaves were N > Ca > Mg > K > P > Mn > Fe > Zn > Cu. Calcium was determined as dominant nutrients in the leaves of the karst forest trees. *C. axillaris* was able to accumulate more macro-elements than other two trees, and the highest accumulation of micro-elements was found in *P. bournei*. *N. sinensis* and *C. axillaris* had an excellent ability to enrich Mg. *N. sinensis* was defined as the P limited plants based on the ratio of the elements in the leaves. The ratios of N/P, K/Ca and K/Mg in the leaves of the three species showed that a synergistic effect of K, Ca, Mg were found on The same type of species. The significant differences were observed in absorption of Mn, Fe and Cu based on statistical analysis.

Keywords: Native Tree Species; Precious Tree Species; Nutrient Elements

湘西南酸枣、闽楠和蓝果树的营养元素含量及吸收规律*

曾 琴¹, 李金华², 李志辉^{1#}, 葛文贵¹, 杨生智³

¹中南林业科技大学林学院, 长沙

²国家林业局, 北京

³湖南省湘西州森林生态研究实验站, 湘西州

Email: lzh1957@126.com

收稿日期: 2013年2月22日; 修回日期: 2013年2月24日; 录用日期: 2013年3月12日

摘 要: 对湘西自治州森林生态站3个乡土珍贵树种——南酸枣、闽楠、蓝果树的营养元素含量及其分布进行了测定分析, 结果表明: 3树种各器官的营养元素总含量遵循树叶>树皮>树枝>树根>树干这一规律。叶中营养元素的含量顺序总体符合 N > Ca > Mg > K > P > Mn > Fe > Zn > Cu。调查树种所在的森林生态站地处喀斯特地区, 主要为石灰岩地区, 该地区树种的 Ca 含量也较高。大量元素为蓝果树积累量最高, 微量元素为闽楠积累量最高。不同的元素积累特点表现为 Mg 在常绿树种闽楠中远低于落叶树种南酸枣和蓝果树。叶片营养元素含量比值表明, 南酸枣属于 P 制约型植物, 闽楠和蓝果树为 N、P 共同影响生长型植物。相同植物类型的 K、Ca、Mg 元素之间的比值特征表明这些元素对相同生活类型树种起协同作用。不同元素含量的标准差和变异系数反映出3个乡土珍贵树种对 Mn、Fe 和 Cu 这3中元素有较大差异的选择性吸收。

关键词: 乡土树种; 珍贵树种; 营养元素

*基金项目: 国家林业公益性行业专项(201204405)。

#通讯作者。

1. 引言

植物中营养元素含量是植物生物学特性与生态环境相统一的结果,反映了植物自身的特征,也反映了植物在一定的生境下从土壤中吸收和蓄积养分的能力^[1]。南酸枣(*Nyssa sinensis*)、闽楠(*Phoebe bournei*)、蓝果树(*Choerospondias axillaris*)是湘西自治州具有代表性的乡土珍贵阔叶树种,具有重要的经济和观赏价值。20世纪90年代初,国内就开始了植物养分的分析,主要针对一些针叶树种^[2,3]。目前,国内外在植物体中各元素的分析研究主要集中于植物体对重金属的富积,分析大气重金属的污染状况方面以及对园林绿化植物养分利用率和养分动态变化等方面^[4-6],当前珍贵树种供应紧缺,而有关珍贵树种养分含量特征及吸收规律的研究报道还比较少见,积极发展这些优良乡土珍贵用材树种,是解决珍贵树种木材供给问题的一个有效途径。本文对该地区三种乡土珍贵树种的营养元素的含量及其吸收特征开展调查分析,揭示不同树种的营养需求,为植树造林及建立最佳营林模式提供重要的理论依据。

2. 研究区及林分概况

研究地点选在湘西自治州森林生态站,该站位于湘西自治州永顺县,地理坐标为东经 109°48',北纬 29°00'。受亚热带季风影响和山地控制,该区境内雨量充沛,光热条件优越,年平均日照时数为 1240~1440 h,年平均气温 15.8℃~16.9℃,≥10℃的年活动积温 4835℃~5200℃,无霜期 269~292 d,年平均降雨量 1300~1500 mm。主要土壤为红壤,土层厚度在 80 cm 以上。

南酸枣(*Choerospondias axillaris*)、闽楠(*Phoebe bournei*)和蓝果树(*Nyssa sinensis*)人工林均由湘西自治州森林生态站建立,树龄 30 年,密度为 900 株/hm²。林下植被盖度超过 80%,主要有地果(*Ficus tikoua* Bur)、常春藤(*Hedera nepalensis* K, Koch var. *sinensis* (Tobl.) Rehd)、花椒(*Zanthoxylum bungeanum maxim*)以及乌泡(*Rubus multibracteatus* Levl. et Vant)等。其林分平均胸径依次为:南酸枣 17.8 cm,闽楠 20.7 cm,蓝果树 17.7 cm;林分平均树高分别为:南酸枣 16.8 m,闽楠 13.3 m,蓝果树 17.6 m。

3. 材料与方法

3.1. 标准木的选定

三树种人工林各设置 3 块 20 m × 20 m 样地。调查记载海拔高度、坡度、坡向,测定林分郁闭度、灌木总盖度、土层厚度等。乔木进行每木检尺,记录其胸径、树高、枝下高、冠幅和树干通直度。根据调查结果,三树种的 3 块样地各选出一株平均木,各树种以平均木为标准选取标准木 3 株(即三树种 9 株标准木)并对其进行树干解析,结合树干解析和生物量调查进行样本采集。

3.2. 样本采集

分别采集三树种 9 株标准木上当年叶(新叶)、老叶、当年枝(新枝)和老枝,最后分别混合处理为叶、枝两类样品;9 株标准木的树干解析圆盘带回,作为树干及树皮样品;地下部分挖取 9 株标准木根部,按 0~20 cm, 20~40 cm, 40~60 cm 这样三层挖出,混合三层取样。各树种 3 株标准木上取样分别为各个树种各器官样品的 3 次重复。

3.3. 样品分析

地上部分生物量采用分层截取法测定^[7]。地下部分将树根样品置于烘箱 100℃烘干,求得其含水率,换算出树根生物量。烘干后的样品用小型不锈钢粉碎机粉碎,样品包装于密封袋内,供化学分析测试用。用凯氏定 N 法测定 N 含量,用钼锑抗比色法测 P 含量,火焰光度法测定 K 含量,乙炔火焰原子吸收法测定 Ca、Mg、Fe、Mn、Zn 和 Cu^[8]。3 份重复样品每份样品测定 3 次,最后取其平均值。

4. 结果与分析

4.1. 乡土珍贵树种的营养元素含量与分布规律

4.1.1. 三树种各器官中营养元素含量及分布规律

从表 1 可知,三树种不同器官的 9 种营养元素总含量差异较大,叶营养元素含量最高,树干最低,且遵循树叶>树皮>树枝>树根>树干这一规律。

三树种各器官中大量元素以 N 和 Ca 含量最高,P 的含量最低,微量元素以 Fe 和 Mn 含量最高,Zn 和 Cu 的含量最低。具体的说,N, P, K, Mg, Mn 元

素在树叶中含量最高, Fe 元素在树根中含量最高, Ca 的含量在各器官中有差异但无规律性存在, Zn 和 Cu 在各器官中差异性不大。

4.1.2. 三树种树叶中营养元素含量及分布规律

树叶是树木生理生化活动最旺盛的器官之一, 叶片特征可以反映植物生长环境的养分状况和植物对环境的适应性, 因而叶片性状一定程度上指示了植物的行为和功能, 常用它的营养元素含量作为植物营养诊断的参考依据^[8]。

树叶中各营养元素含量参见表 1。各营养元素在 3 个树种树叶中的含量总体符合 $N > Ca > Mg > K > P > Mn > Fe > Zn > Cu$, 南酸枣中 Fe 含量远高于 Mn 含量, 相差达 6 倍。

本次研究的 3 种乡土珍贵树种叶中, 大量元素 N, P 含量差别不大, 分别为 32.42~35.13 g/kg, 2.04~2.25 g/kg。K 元素为闽楠叶中含量最高, Ca 元素在南酸枣中含量最高, 蓝果树则表现为对 Mg 元素的富集能力最强。结果还显示 3 个树种叶片 Ca 含量均超过了

10.000 g/kg, 远远高于陆地植物叶片 Ca 含量 2.300~5.000 g/kg 的常见范围^[9], 该数据结果与青坪生态站所处地区为喀斯特地貌有关, 其主要为石灰岩地区, 富含 Ca 营养元素。微量元素中 Zn、Cu 含量差别不大, 含量范围为 29.13~52.76 mg/kg, 17.13~40.13 mg/kg。含 Fe 量最高的为南酸枣, Mn 则在蓝果树中含量最高。

4.2. 单株林木营养元素的积累与分布

由表 2 和 3 可知, 3 种乡土珍贵树种南酸枣, 闽楠, 蓝果树的单株林木大量元素和微量元素的积累量分别为: 2.0971、1.6180、2.3824 kg 和 56.8529、82.7934、80.0412 g。大量元素排列顺序依次为: 树干>树皮>树根>树枝>树叶, 微量元素含量的排列顺序依次为树根>树干>树皮>树枝>树叶。

不同树种单株林木各营养元素积累则因树种而不同, 其中南酸枣和蓝果树大小排序均表现为 $Ca > N > Mg > K > P > Fe > Mn > Zn > Cu$ 特征, 而闽楠则表现为 $N > Ca > K > Mg > P > Fe > Mn > Zn > Cu$ 这一特征,

Table 1. Nutrient contents in the different organs of three species
表 1. 三树种各器官的营养元素含量

树种 species	器官 organ	元素/g·kg ⁻¹									
		N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	合计 totals
南酸枣 <i>Choerospondias axillaris</i>	树叶 leaf	33.51	2.04	4.79	21.84	7.69	0.247	0.043	0.043	0.040	70.24
	树皮 bark	7.03	0.73	2.96	17.41	4.54	0.268	0.014	0.028	0.007	32.99
	树枝 twig	9.19	0.95	2.31	13.11	2.56	0.092	0.028	0.037	0.036	28.31
	树根 root	7.03	0.42	1.71	10.97	5.31	1.724	0.103	0.029	0.045	27.34
	树干 trunk	1.08	0.06	0.21	2.83	2.27	0.050	0.078	0.011	0.006	6.60
	合计 total	57.82	4.19	11.94	66.16	22.37	2.381	0.266	0.148	0.133	165.41
闽楠 <i>Phoebe bournei</i>	树叶 leaf	35.13	2.25	8.83	13.01	2.63	0.174	0.880	0.053	0.025	62.98
	树皮 bark	9.19	0.89	3.86	16.81	0.76	0.356	0.552	0.040	0.010	32.47
	树枝 twig	11.83	1.83	2.00	8.93	1.61	0.222	0.531	0.078	0.045	27.08
	树根 root	8.65	0.74	0.50	0.54	2.68	2.717	0.369	0.039	0.064	16.30
	树干 trunk	2.16	0.07	1.71	2.84	0.25	0.065	0.076	0.020	0.007	7.20
	合计 total	66.95	5.76	21.35	47.04	7.93	3.535	2.407	0.230	0.150	155.35
蓝果树 <i>Nyssa sinensis</i>	树叶 leaf	32.42	2.23	5.10	17.29	9.25	0.246	1.056	0.029	0.017	67.64
	树皮 bark	5.94	1.14	4.48	22.65	5.38	0.673	0.824	0.074	0.009	41.17
	树枝 twig	8.89	0.87	3.07	15.46	3.58	0.110	0.321	0.042	0.032	32.38
	树根 root	6.49	0.43	3.96	8.95	6.94	1.566	0.237	0.034	0.015	28.62
	树干 trunk	1.24	0.07	0.07	2.69	3.12	0.059	0.087	0.017	0.005	7.36
	合计 total	54.98	4.74	17.27	67.04	28.26	2.654	2.526	0.195	0.077	177.74

湘西南酸枣、闽楠和蓝果树的营养元素含量及吸收规律

Table 2. Accumulation and distribution of macro-elements in the single tree of three species
表 2. 三树种单株林木大量元素积累与分布

树种 species	器官 organ	单株生物量/kg	大量元素/kg					合计 totals
			N	P	K	Ca	Mg	
南酸枣 <i>C. axillaris</i>	树叶 leaf	2.97	0.0995	0.0061	0.0142	0.0648	0.0228	0.2074
	树皮 bark	16.84	0.1183	0.0122	0.0493	0.2931	0.0764	0.5493
	树枝 twig	7.23	0.0691	0.0071	0.0173	0.0986	0.0192	0.2113
	树根 root	18.95	0.1332	0.0080	0.0323	0.2079	0.1007	0.4821
	树干 trunk	88.95	0.0916	0.0055	0.0186	0.2519	0.2014	0.5690
	合计 total	134.94	0.5044	0.0382	0.1299	0.9058	0.4185	2.0191
闽楠 <i>P. bournei</i>	树叶 leaf	4.31	0.1513	0.0097	0.0380	0.0560	0.0113	0.2663
	树皮 bark	11.06	0.1016	0.0098	0.0427	0.1860	0.0084	0.3485
	树枝 twig	10.91	0.1297	0.0199	0.0218	0.0975	0.0176	0.2865
	树根 root	14.58	0.1276	0.0108	0.0732	0.0803	0.0395	0.3314
	树干 trunk	63.80	0.1379	0.0043	0.1088	0.1813	0.0160	0.4483
	合计 total	104.66	0.6622	0.0554	0.2881	0.6063	0.0939	1.6810
蓝果树 <i>N. sinensis</i>	树叶 leaf	1.71	0.0555	0.0038	0.0087	0.0296	0.0158	0.1134
	树皮 bark	12.35	0.0733	0.0140	0.0553	0.2796	0.0664	0.4886
	树枝 twig	8.71	0.0774	0.0076	0.0930	0.1347	0.0311	0.3438
	树根 root	17.99	0.1167	0.0078	0.0712	0.1611	0.1249	0.4817
	树干 trunk	122.90	0.1527	0.0080	0.0811	0.3301	0.3830	0.9549
	合计 total	163.66	0.4756	0.0412	0.3093	0.9351	0.6212	2.3824

Table 3. Accumulation and distribution of micro-elements in the single tree of three species
表 3. 三树种单株林木微量元素积累与分布

树种 species	器官 organ	单株生物量/kg	微量元素/g				合计 totals
			Fe	Mn	Zn	Cu	
南酸枣 <i>C. axillaris</i>	树叶 leaf	2.97	0.7331	0.1276	0.1284	0.1198	1.1089
	树皮 bark	16.84	4.5131	0.2273	0.4694	0.1116	5.3214
	树枝 twig	7.23	0.6893	0.2098	0.2812	0.2671	1.4474
	树根 root	18.95	32.6767	1.9523	0.5406	0.8577	36.0273
	树干 trunk	88.95	4.4834	6.9652	1.0012	0.4981	12.9479
	合计 total	134.94	43.0956	9.4822	2.4208	1.8543	56.8529
闽楠 <i>P. bournei</i>	树叶 leaf	4.31	0.7496	3.7910	0.2273	0.1055	4.8734
	树皮 bark	11.06	3.9377	6.1029	0.4466	0.1050	10.5922
	树枝 twig	10.91	2.4262	5.7912	0.8486	0.4939	9.5599
	树根 root	14.58	40.0975	5.4475	0.5774	0.9463	46.0687
	树干 trunk	63.80	4.1560	4.8299	1.2859	0.4274	10.6992
	合计 total	104.66	51.6730	25.9625	3.3858	2.0781	82.7934
蓝果树 <i>N. sinensis</i>	树叶 leaf	1.71	0.4209	1.8091	0.0499	0.0291	2.3090
	树皮 bark	12.35	8.3082	10.1738	0.9120	0.1065	19.5005
	树枝 twig	8.71	0.9592	2.7998	0.3637	0.2744	4.3971
	树根 root	17.99	28.1864	4.2725	0.6076	0.2655	33.3320
	树干 trunk	122.90	7.2019	10.6676	2.0432	0.5899	20.5026
	合计 total	163.66	45.0766	29.7228	3.9764	1.2654	80.0412

从表 2 可以看出, 不同树种对不同元素的积累为 Mg 元素悬殊最大, 闽楠对于 Mg 元素含量的积累远远低于其他两个树种, 与贵州普定喀斯特森林树种 Mg 在常绿树种中含量低于落叶树种这一结果相符^[9]。

4.3. 乡土珍贵树种各器官营养元素含量特征

4.3.1. 营养元素含量比值特征

营养元素在植物的生长过程中的作用可表现为两方面: 拮抗作用或协同作用。由于元素在被根系吸收时会受到其它元素的影响, 因此与单一的营养元素含量相比, 植物组织营养元素含量比值更能真实指示其对植物体生长的影响^[10]。

表 4 列出了 3 个树种叶片 5 种营养元素的质量分数比值。N/P 在树种间差异不明显; 不同生活特性树种 Ca/K、K/Mg 和 Ca/Mg 浓度比值体现了差异性: 落叶树种(南酸枣和蓝果树)叶片 Ca/K 显著大于常绿树种闽楠, 而 K/Mg 和 Ca/Mg 刚好相反, 显著低于闽楠, 2 个落叶树种间 Ca/K、K/Mg 和 Ca/Mg 浓度比值没有显著差异。

植物体内 N/P 值能用来衡量植物生长过程中受哪个元素的限制, 当 N/P > 16 时, 暗示植物生长受 P 限制, 当 N/P 小于 14 时, 表明植物生长受 N 限制, 当 N/P 比值介于 14~16 时, 表明 N 与 P 单独或者共同影响植物的生长^[11]。参见表 2, 以此推断, 本研究的 3 个树种中南酸枣属于 P 制约型植物, 闽楠和蓝果树属于二者共同影响生长型。

尽管 3 个树种间 Ca/K、K/Mg 和 Ca/Mg 比值存在显著差异, 但相同生活类型树种(2 个落叶树种)叶片的元素比值比较接近, 说明这些元素对相同生活类型树种的生长基本上起着协同作用。

4.3.2. 微量元素选择性吸收特征

植物体会根据自身状况及环境条件进行选择性地吸收一些含量过高则产生毒害作用的元素, 如 Fe、Mn、Zn 和 Cu^[12]。小枝是微量营养元素的重要贮存库, 根是营养元素的吸收器官^[13], 最后根据树叶对植物营养状况的指示性, 选定这 3 种器官中的微量元素状况进行比较分析。

如表 5 所示, 树叶与树枝中, Mn 元素的离散程度以及相对离散程度都远高于其他元素, 其次为 Fe 和 Cu; 树根中离散程度是 Fe 元素最高, Mn 其次,

相对离散程度最高的为 Cu, Mn 其次。因此可得知: 不同树种对 Mn、Fe 及 Cu 这三种元素的吸收具有较强的选择性。

5. 结论与讨论

湘西自治州森林生态站南酸枣, 闽楠, 蓝果树 3 种乡土珍贵树种 9 种营养元素的总含量基本遵循树叶 > 树皮 > 树枝 > 树根 > 树干这一规律。

各树种叶中营养元素含量顺序总体符合 N > Ca > Mg > K > P > Mn > Fe > Zn > Cu, 南酸枣中 Fe 含量高于 Mn 含量, 相差达 6 倍。不同树种对不同元素的富集能力各有不同。调查树种所在的森林生态站地处喀斯特地区, 主要为石灰岩地区, 该地区树种的 Ca 含量也较高。温达志等人对贵州普定喀斯特森林三种优势树叶片元素含量特征的研究则得出该地含量最高的营养元素元素为 Ca 这一结论, 另对湘西生态站地区土壤的养分分析对得知, 表土层中 N 的含量远高于心土层和底土层, 分析其原因, 可能是湘西生态站人工林中某种腐殖物或是淋溶物富含 N 元素或者该地区施过 N 肥, 其精准原因还需继续调查。

不同树种对营养元素的积累强度不一, 3 种林木树种中, 大量元素在蓝果树积累量最高, 微量元素为闽楠中积累量最高。不同元素的积累特点表现为 Mg 在常绿树种闽楠中的积累量远低于落叶树种南酸枣和蓝果树。温达志等人对贵州普定喀斯特森林三种优势树叶片元素含量特征的研究也表明: 常绿的猴樟叶片 Mg 含量显著低于落叶的大叶栎和刺楸^[9]。就此是否能得出结论 Mg 在常绿树种中的含量远低于落叶树种还有待进一步的研究。

叶片营养元素含量比值表明, 南酸枣属于 P 制约型植物, 闽楠和蓝果树为 N, P 共同影响生长型植物。相同植物类型的 K, Ca, Mg 元素之间的比值特征表

Table 4. Ratios of element content in the leaves of three species
表 4. 三树种的叶片营养元素含量比值

树种 species	质量分数比 fraction ratio of mass			
	N/P	Ca/K	Ca/Mg	K/Mg
南酸枣 <i>C. axillaris</i>	16.43 ^a	4.56 ^a	2.84 ^a	0.62 ^a
闽楠 <i>P. bournei</i>	15.64 ^a	1.17 ^b	4.95 ^b	3.36 ^b
蓝果树 <i>N. sinensis</i>	14.54 ^a	3.39 ^a	1.87 ^a	0.55 ^a

不同比值差异显著(P<0.05)时以不同字母表示。

Table 5. Contents of microelements in leaves, twigs and roots of three species
表 5. 三树种的微量元素含量

器官 organ	树种 species	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)
树叶 leaf	南酸枣 <i>C. axillaris</i>	247.125	43.125	43.255	40.375
	闽楠 <i>P. bournei</i>	174.125	880.125	52.755	24.515
	蓝果树 <i>N. sinensis</i>	245.715	1056.125	29.125	17.125
	平均值 average	222.322	659.792	41.712	27.338
	标准差 standard deviation	41.745	541.251	11.890	11.879
	变异系数 coefficient of variation	0.188	0.820	0.285	0.435
树枝 twig	南酸枣 <i>C. axillaris</i>	91.615	27.875	37.375	35.515
	闽楠 <i>P. bournei</i>	222.315	530.625	77.755	45.255
	蓝果树 <i>N. sinensis</i>	110.125	321.375	41.755	31.515
	平均值 average	141.352	293.292	52.295	37.428
	标准差 standard deviation	70.724	252.549	22.158	7.067
	变异系数 coefficient of variation	0.500	0.861	0.424	0.189
树根 root	南酸枣 <i>C. axillaris</i>	1724.125	103.125	28.515	45.255
	闽楠 <i>P. bournei</i>	2717.125	369.125	39.125	64.125
	蓝果树 <i>N. sinensis</i>	1566.125	237.375	33.755	14.755
	平均值 average	2002.458	236.542	33.798	41.378
	标准差 standard deviation	623.941	133.002	5.305	24.912
	变异系数 coefficient of variation	0.312	0.562	0.157	0.602

明这些元素对相同生活类型树种起协同作用。

不同元素含量的标准差和变异系数反映出 3 个珍贵树种对 Mn、Fe 和 Cu 这 3 中元素有较大差异的选择性吸收。

参考文献 (References)

- [1] 陈银萍, 张满效, 陈拓等. 圆柏属常绿木本植物元素含量的季节动态[J]. 广西植物, 2009, 3: 315-320.
- [2] 刘秀坤, 王政权, 潘建忠, 王庆成. 落叶松水曲柳混交林枝叶皮营养元素含量的季节变化[J]. 东北林业大学学报, 1991, 1: 244-249.
- [3] 王庆成. 混交林中水曲柳落叶松营养元素含量及季节动态[J]. 东北林业大学学报, 1995, 2: 14-19.
- [4] 王陆军, 张赆齐, 丁正亮等. 安徽肖坑亚热带常绿阔叶林 4 优势树种叶养分动态及其利用效率[J]. 东北林业大学学报, 2010, 7: 10-12.
- [5] 张凯. 合肥市主要园林树木养分动态及其养分利用效率的研究[D]. 安徽农业大学, 2007.
- [6] 何蓉, 张学星, 施莹等. 16 种城市绿化树种叶片中铁锰铜锌元素的含量特征[J]. 西部林业科学, 2006, 1: 23-35.
- [7] 潘维涛. 森林生态系统第一性生产量的测定技术与方法[J]. 湖南林业科学, 1981, 1(2): 1-12.
- [8] 李志辉, 李跃林, 谢耀坚. 巨尾桉人工林营养元素积累、分布和循环的研究[J]. 中南林学院学报, 2000, 3: 11-19.
- [9] 旷远文, 温达志, 闫俊华等. 贵州普定喀斯特森林 3 种优势树种叶片元素含量特征[J]. 应用与环境生物学报, 2010, 16(2): 158-163.
- [10] T. W. Berger, G. Kollensperger and R. Wimmer. Plant-soil feedback in spruce (*Picea abies*) and mixed spruce-beech (*Fagus sylvatica*) stands as indicated by dendrochemistry. Plant Soil, 2004, 264(1-2): 69-83.
- [11] W. Koerselman, A. F. M. Meuleman. The vegetation N:P ratio: A new tool to detect the nature of nutrient limitation. Journal of Applied Ecology, 1996, 33(6): 1441-1450.
- [12] G. M. Will. Influence of trace-element deficiencies on plantation forestry in New Zealand. Forest Ecology and Management, 1990, 37(1-3): 1-6.
- [13] 曾曙才, 谢正生, 陈北光. 几种林木植物体及枯落物的微量元素分析[J]. 华南农业大学学报, 2002, 2: 58-61.