

文章编号: 1000-5692(2006)05-0542-07

武汉植物园 21 种迁地保护珍稀植物大量 营养元素质量分数和吸收系数

钟志祥^{1,2}, 徐有明¹, 陈 防², 万开元²

(1. 华中农业大学 园林学院, 湖北 武汉 430070; 2. 中国科学院 武汉植物园, 湖北 武汉 430074)

摘要: 在“生态相似性”营养保育策略的指导下, 研究了武汉植物园迁地保护的樟科 Lauraceae 和木兰科 Magnoliaceae 21 种珍稀植物的营养状况, 以及它们所生长土壤的营养条件。结果表明, 土壤大量元素平均质量分数顺序为钙>镁>氮>钾>硫>磷。质量分数和元素顺序说明可供植物吸收利用的氮磷钾较为缺乏。元素平均值、背景值以及氮、磷比值分析可以得出, 植物体内的磷、硫以及氮较为缺乏。6 种元素的生物吸收系数顺序为氮>磷>钾>硫>钙>镁, 这在一定程度上反映植物对 6 种元素的需求顺序。针对 21 种植物叶片营养状况与土壤营养条件的关系, 为确保珍稀植物“从种子到种子”的成功, 建议适量增加土壤中可供植物吸收利用的氮、磷和钾。图 1 表 6 参 17

关键词: 植物学; 珍稀植物; 迁地保护; 营养元素

中图分类号: S718.43 **文献标识码:** A

据世界自然保护联盟(IUCN)保护监测中心估计, 现今全球约每 5 种植物中就有 1 种遭受生存威胁。而在我国近万种高等植物中, 估计至少 3 000 种处于受威胁或濒临灭绝的境地。所以, 濒危植物的保护日益受到关注, 作为保护方法的迁地保护已经成为最主要的保护方式之一。迁地保护植物在迁入地的生存状况到底如何呢? 许多人对它们作了生态适应性评价。徐爱源等^[1]的研究表明, 原产亚热带的木兰科 Magnoliaceae 植物种类在江西省九江市林科所一般生长良好, 而原产温带或亚热带高海拔地区的种类则生长不良。龚洵等^[2]对昆明植物园迁地保护的濒危植物的适应性进行了观察总结, 得出原产地与适应性的关系以及迁入地气候条件对这些濒危植物繁殖的影响。但是, 对于被保护植物在迁入地的营养状况, 以及与当地土壤条件关系的研究, 却很少见诸报道。营养状况可以衡量迁地保护植物在迁入地生长状况, 能反映被保护植物在保护地是否存在营养障碍, 是否符合迁地保护成功的最低标准——“从种子到种子”^[3], 还能评价保护地土壤条件是否在这些植物的生态幅范围内^[4]。由此, 笔者与合作者提出了迁地保护植物营养保育策略^[5]。在这一理论指导下, 文章以武汉植物园内樟科 Lauraceae 和木兰科的 21 种迁地保护珍稀植物为材料, 从总体上对它们的营养状况以及土壤营养条件作了初步分析, 并提出了相关的建议。

收稿日期: 2005-11-04; 修回日期: 2006-02-21

基金项目: 加拿大钾磷肥研究中心(PPI)资助项目(PPI/PPIC-HB-27)

作者简介: 钟志祥, 硕士研究生, 从事植物学研究。E-mail: zzq197931@sohu.com。通讯作者: 万开元, 副研究员, 博士, 从事湿地生态和植物保育研究。E-mail: wanky@rose.whioh.ac.cn

1 材料与方 法

1.1 植物及研究地概况

武汉植物园地处 30°37'N, 114°08'E, 属亚热带季风气候区。年平均气温为 16.3 °C, 最低气温 -17.3 °C, 最高气温 42.2 °C, 年均降水量为 1 214~1 448 mm, 多集中于 4~7 月。年无霜期一般为 211~272 d, 日照总时数 1 810~2 100 h, 总辐射 4.37×10⁶~4.72×10⁶ kJ·m⁻²。土壤为湖滨沉积物上发育的中性黏土^[6], 但有人为扰动。该研究中 21 种植物生长在园内的不同地点, 各种植物生长状况和土壤条件均有不同(表 1)。

表 1 研究植物的生长状况以及生长地点

Table 1 Growth status and living place of 21 studied plants

植物名	树高/m	胸径/cm	树冠/m	生长状况	是否坐果	生长地点
黄山木兰 <i>Magnolia cylindrica</i>	7.0	2.23	4.60×4.80	一般	是	展区一
天目木兰 <i>Magnolia amoena</i>	10.0	4.14	7.20×7.70	较好	是	展区一
巴东木莲 <i>Manglietia patungensis</i>	6.0	4.46	4.1×4.25	较好	否	展区一
宝华玉兰 <i>Magnolia zenii</i>	9.0	3.82	6.50×5.10	较好	是	展区一
云南拟单性木兰 <i>Parakmeria yunnanensis</i>	2.0	0.95*	0.76×0.97	较差	否	展区一
鹅掌楸 <i>Liriodendron chinense</i>	11.0	5.41	6.70×6.90	较好	否	展区一
大果木莲 <i>Manglietia grandis</i>	3.0	0.80	1.30×1.10	较差	否	展区一
峨眉含笑 <i>Michelia wilsonii</i>	4.3	1.11	1.60×1.45	较差	否	展区一
浙江楠 <i>Phoebe chkiangensis</i>	6.0	3.18	5.00×4.00	较好	是	展区一
天竺桂 <i>Cinnamomum japonicum</i>	2.2	0.83	1.00×1.45	一般	是	展区一
舟山新木姜子 <i>Neolitsea sericea</i>	7.0	2.23	3.70×3.40	一般	否	展区一
紫楠 <i>Phoebe sheareri</i>	6.5	2.55	3.90×3.90	一般	是	展区一
楠木 <i>Phoebe zhennan</i>	8.5	2.71	4.00×4.10	一般	是	展区一
闽楠 <i>Phoebe bournei</i>	3.5	0.95*	0.50×0.80	一般	是	展区一
观光木 <i>Tsoongiodendron odorum</i>	4.5	2.23	3.50×3.40	较差	否	展区一
红花木莲 <i>Manglietia insignis</i>	1.5	1.91*	0.80×2.10	较差	否	展区二
天目木姜子 <i>Litsea auriculata</i>	2.5	1.11*	1.70×1.90	一般	否	展区二
凹叶厚朴 <i>Magnolia officinalis</i> subsp. <i>biloba</i>	7.0	3.20	3.00×4.40	较好	否	水岛
深山含笑 <i>Michelia maudiae</i>	5.0	1.91	3.30×2.60	较好	是	水岛
含笑 <i>Michelia figo</i>	3.8	1.27*	2.50×2.20	一般	是	珍稀植物区
阔叶樟 <i>Cinnamomum platyphyllum</i>	5.5	3.50	5.20×5.30	较好	否	珍稀植物区

说明: *地径值。

1.2 样品采集与处理

于 2004 年 6~10 月每月 20 日取样, 取样分东南西北 4 个方位, 在树冠中下部枝条上选取当年春梢以下成熟叶片 10~100 片(数目视树叶大小而定)。用蒸馏水洗净, 80 °C 烘干至恒量, 粉碎。植物干样用 H₂SO₄-H₂O₂ 消化后, 氮用凯氏定氮蒸馏法, 磷用钼锑抗比色法, 钾用火焰光度法, 钙、镁用原子吸收仪测定^[7], 硫采用 HNO₃-HClO₄ 消煮-ICP 法测定。

在武汉植物园展区一、水岛、展区二和珍稀植物区, 于试验当年的 10 月各取 4 个土壤样品, 混匀, 室内阴干, 过 1 mm 筛。碱解氮采用碱解扩散-硼酸吸收法, 速效磷采用 0.03 mol·L⁻¹ NH₄F-0.025 mol·L⁻¹ HCl 浸提-钼锑抗比色法, 速效钾采用 1 mol·L⁻¹ NH₄OAC 浸提-火焰光度法, 交换性钙和交换性镁采用 1 mol·L⁻¹ NH₄OAC 交换-原子吸收分光光度法, 土壤有效硫用 1.5 g·kg⁻¹ CaCl₂-BaSO₄ 比浊法测定^[7]。

展区一、水岛、展区二和珍稀植物区等 4 个地点面积较小, 土壤类型一致。

2 结果与分析

2.1 试验地土壤养分状况

4 处土样元素含量如表 2 所示。4 个取样点的碱解氮质量分数均小于 1 000 mg·kg⁻¹, 速效磷都小

于 $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 速效钾处于 $61 \sim 100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 三者含量较为偏小, 但尚处于鲁如坤^[8]报告的武汉地区土壤营养元素有效含量的范围之内。硫平均值大于 $24 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 说明土壤中硫并不缺乏^[9]。一般认为, 土壤交换性钙和交换性镁质量分数分别低于 400 和 $50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, 则表现为钙和镁缺乏^[10]。从表 2 中可以看出, 除展区二, 其他地方含量正常。4 处取样点各元素质量分数平均值顺序为钙 > 镁 > 氮 > 钾 > 硫 > 磷。植物园土壤呈酸性, 4 处平均 pH 值为 4.88。

表 2 园内不同地点土壤 pH 值及 6 种元素质量分数

Table 2 Contents of six macronutrients and pH values of soil

地点	质量分数/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)						pH 值
	碱解氮	速效磷	速效钾	交换性钙	交换性镁	有效硫	
珍稀植物区	115.30	7.00	98.90	1758.00	223.00	46.60	5.04
水岛	48.20	6.80	76.20	1690.00	432.00	25.30	5.07
展区一	73.40	3.70	72.60	1477.00	318.00	31.40	5.06
展区二	111.10	5.69	87.60	105.10	189.00	51.30	4.30
平均值	87.00	5.80	83.80	1256.00	291.00	38.70	4.88

2.2 植物元素质量分数分析

2.2.1 质量分数平均值分析 不同植物元素质量分数不相同, 但具有相对稳定的范围。和草本植物相比, 木本植物叶片元素质量分数可能稍有不同。从表 3 中可以看出, 所有植物氮质量分数的平均值为 $9.728 \sim 20.252 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 对比《植物营养学》^[11] 中的正常元素值, 属于 $3.0 \sim 50.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的范围内, 但多数处于 $10.0 \sim 20.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。磷质量分数平均值的范围是 $0.986 \sim 2.074 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 而大部分处于 $1.0 \sim 2.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 和正常范围相比偏低。钾、钙和镁都处在正常范围之内。11 种植物硫的质量分数低于 $1.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 其他植物也都不高于 $2.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 即部分植物硫有偏低的趋势, 因为土壤中并不缺少硫,

表 3 各植物 6 种元素质量分数平均值、正常范围及氮磷比值

Table 3 Average contents of six macronutrients and N:P ratios of all plants

植物名	平均质量分数/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)						氮磷比值
	氮	磷	钾	钙	镁	硫	
黄山木兰	16.6±2.12	1.22±0.18	9.62±1.92	15.8±2.73	3.56±0.31	0.94±0.26	13.65
天目木兰	13.8±1.34	1.38±0.17	9.39±2.12	16.5±3.37	4.62±0.41	0.94±0.26	10.01
巴东木莲	12.1±2.72	1.13±0.16	7.70±2.48	15.0±3.39	3.86±0.51	0.61±0.18	10.70
宝华玉兰	13.6±2.33	1.32±0.14	6.36±3.37	14.9±4.53	4.59±0.60	1.78±0.12	10.31
观光木	17.0±2.34	1.27±0.28	4.22±2.22	8.3±1.50	2.57±0.45	0.65±0.16	13.36
红花木莲	20.3±1.88	1.45±0.29	8.27±1.91	11.4±3.40	2.85±0.46	0.68±0.08	13.93
凹叶厚朴	13.3±2.89	1.24±0.31	4.00±1.60	17.6±5.39	4.00±0.40	1.19±0.10	10.71
云南拟单性木兰	9.7±1.95	1.15±0.41	3.38±1.66	16.1±5.30	3.70±0.67	1.71±0.48	8.44
含笑	16.0±2.26	1.43±0.37	7.44±2.22	10.3±3.43	4.39±0.88	1.51±0.77	11.22
鹅掌楸	14.3±4.66	1.28±0.19	4.44±0.63	29.0±5.36	4.80±0.79	1.50±0.57	11.14
深山含笑	12.5±2.65	1.34±0.79	4.71±1.61	14.7±4.95	2.27±0.70	0.77±0.18	9.33
大果木莲	13.9±1.52	1.16±0.32	5.31±2.61	10.8±1.88	3.86±0.61	0.91±0.75	11.91
峨嵋含笑	13.7±0.61	0.99±0.12	4.59±1.03	19.1±4.93	4.00±0.76	0.97±0.24	13.86
阔叶樟	13.5±3.27	1.10±0.24	6.46±1.21	16.0±3.03	5.20±1.17	1.07±0.17	12.27
浙江楠	16.8±2.44	1.32±0.27	8.02±1.79	7.1±1.07	1.20±0.17	0.58±0.10	12.74
天竺桂	14.9±1.00	1.01±0.29	5.27±1.34	9.8±3.09	1.51±0.27	0.81±0.06	14.81
舟山新木姜子	14.4±0.45	1.57±0.59	5.62±1.94	14.6±3.79	2.03±0.63	1.66±0.50	9.14
紫楠	16.6±3.58	1.88±0.34	8.63±1.35	7.9±0.74	2.21±0.26	0.72±0.20	8.80
楠木	16.8±1.40	1.54±0.22	9.15±1.40	6.8±2.60	1.96±1.13	0.70±0.08	10.90
天目木姜子	15.7±2.05	2.07±0.55	10.48±3.06	14.8±4.58	3.47±0.80	1.94±0.33	7.56
闽楠	17.2±0.78	1.87±0.18	10.85±1.25	10.8±2.21	2.69±0.20	0.86±0.12	9.17
正常范围 ^[11]	3.00~50.00	2.0~11.00	3.00~50.00	1.00~50.00	0.50~7.00	1.00~5.00	—

因此, 这可能是植物本身的特性造成硫质量分数偏低。

2.2.2 元素背景值分析 元素背景值是指未受污染介质中元素的质量分数, 如环境背景值是指环境中诸因素, 如大气、水体、土壤以及植物、动物和人体组织等在正常情况下, 化学元素的质量分数及其赋存形态^[12]。此处是指在受到人为干扰的情况下, 21 种珍稀植物营养元素的质量分数特点。从表 4 中可知, 磷钾硫等 3 种元素质量分数的下限远低于正常范围下限, 说明部分样品磷钾硫的质量分数极低; 氮钙镁则都在正常质量分数范围内。

从表 4 中平均值看, 磷的平均值为 $1.36 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 低于正常下限 $2.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 说明磷在 21 种珍稀植物中极为缺乏。其他元素质量分数均在正常范围之内, 但硫较为接近正常范围底线 $1.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 一定程度上说明硫可能缺乏。

从表 4 还可以看出, 6 种元素质量分数平均值高低顺序为氮 > 钙 > 钾 > 镁 > 硫 > 磷。

表 4 各种元素的背景值范围及平均值

Table 4 Background contents and average contents of six macronutrients

元素	背景值范围/ $(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$	平均值/ $(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$	样品数
氮	7.600~22.313	14.90 ± 3.20	133
磷	0.639~2.924	1.36 ± 0.40	133
钾	1.188~15.119	6.90 ± 2.90	133
钙	4.069~37.671	13.70 ± 6.10	133
镁	0.860~6.698	3.29 ± 1.30	133
硫	0.406~2.513	1.04 ± 0.50	133

2.2.3 氮磷比值分析 氮和磷是限制植物生长的主要因子, 而氮磷比值常被用来检测植物体的营养特征^[13]。Ingestad^[14] 研究显示, 氮磷比 < 14 则植物的生长受氮的限制, 氮磷比 > 16 则受磷的限制, 两者之间受氮和磷的共同限制。此研究中, 除天竺桂外, 植物氮磷质量分数比值均小于 14 (表 3), 天目山木姜子甚至小到 7.56, 说明植物生长受到氮的严重限制。所有样品线性回归显示, 氮磷比值为 10.245 (图 1a), 表明对所有的样品来说, 氮磷比值也偏小。从氮磷比例式来看, 氮质量分数使比值呈正比例变化, 而磷质量分数使之呈反比例变化, 线性回归显示(图 1b, c), 磷质量分数变化对氮磷比值的影响比氮质量分数更明显(图 2b 中 $R^2=0.4100$, 远大于图 2c 中 $R^2=0.0822$, 这和 Victor^[15] 研究的结果相似。由于磷质量分数偏小, 而氮磷比值也偏小, 因而质量分数偏小。

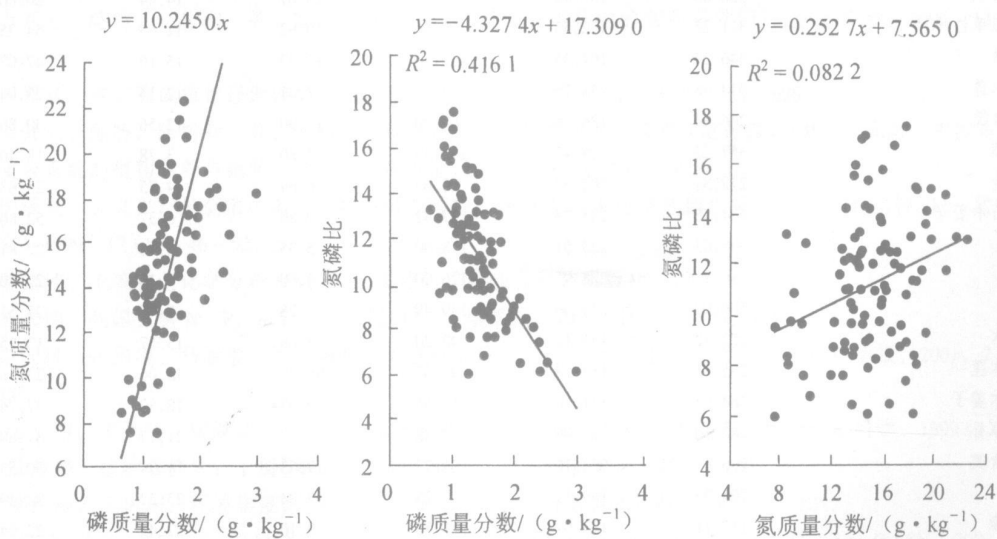


图 1 氮磷线性回归

a 为氮磷质量分数线性回归; b 为氮磷比和磷质量分数线性回归; c 为氮磷比和氮质量分数线性回归

Figure 1 Regression of N and P

2.2.4 相关性分析 所有样品6种元素相关性分析显示,氮磷钾两两相互呈极显著正相关,钙和镁呈极显著正相关,而钙和氮、钙和钾、镁和氮、镁和钾都呈极显著负相关。这说明氮磷钾三者之间、钙和镁之间都存在着相互促进作用,而前者和后者可能存在拮抗作用。钙和镁二者与磷呈负相关,但不显著(表5)。硫与钙、镁呈极显著正相关,与磷呈显著正相关,与氮和钾分别呈负、正相关,但是都不显著。这说明硫和钙、镁、磷可能存在相互促进作用。

表5 各元素间的相关性

Table 5 Analysis of correlation about six macronutrients

元素	氮	磷	钾	钙	镁	硫
磷	0.494 **	1				
钾	0.445 **	0.563 **	1			
钙	-0.353 **	-0.120	-0.408 **	1		
镁	-0.333 **	-0.082	-0.270 **	0.625 **	1	
硫	-0.180	0.202 *	0.025	0.377 **	0.328 **	1

说明: **表示相关极显著, *表示相关显著。

2.3 生物吸收系数

元素的生物吸收系数表示植物对元素的吸收和富集能力,反映了植物元素质量分数与土壤元素质量分数的相互关系^[16],也就是反映元素从土壤迁移到植物的难易程度^[17]。根据公式:生物吸收系数=叶片A质量分数/土壤A质量分数(A代表某种元素质量分数平均值)。结果如表6。

表6 各种植物叶片中6种元素生物吸收系数

Table 6 Biological absorption coefficients of 6 macronutrients of all plants leaves

种 名	生物吸收系数					
	磷	氮	钾	钙	镁	硫
黄山木兰	329.44	226.66	132.51	10.71	11.20	29.86
天目木兰	372.59	188.02	129.32	11.18	14.52	19.39
巴东木莲	305.90	165.08	106.02	10.16	12.12	56.81
宝华玉兰	356.80	185.44	87.61	10.07	14.44	20.80
云南拟单性木兰	311.25	132.53	46.51	10.92	11.63	54.35
鹅掌楸	346.27	194.35	61.10	19.43	15.10	47.67
大果木莲	314.46	188.75	73.11	7.31	12.14	29.04
峨眉含笑	266.44	186.16	63.20	12.90	12.56	30.86
浙江楠	357.22	229.47	110.49	4.80	3.78	18.40
天竺桂	272.81	203.52	72.63	6.64	4.75	25.83
舟山新木姜子	424.50	195.73	77.42	9.89	6.37	52.86
紫楠	508.03	225.51	118.90	5.35	6.96	22.81
楠木	416.71	228.95	126.00	4.60	6.15	22.26
闽楠	506.09	234.06	149.49	7.28	8.45	27.51
观光木	223.72	153.11	48.20	78.68	13.57	13.15
红花木莲	255.45	182.28	94.37	108.32	15.06	23.16
天目木姜子	364.53	141.16	119.65	140.57	18.37	37.76
凹叶厚朴	182.10	275.09	52.48	10.42	21.17	37.68
深山含笑	196.67	258.70	61.77	19.53	11.99	30.53
含笑	204.35	139.11	75.25	5.84	23.22	32.49
阔叶樟	157.11	117.07	65.36	9.10	27.49	22.94
平均值	317.74	192.89	89.11	23.99	12.91	31.25
标准差	92.99	42.02	31.59	37.17	5.18	12.43

从表6可以看出,21种植物叶片氮和磷的生物吸收系数均大于100,由2.2.1,2.2.2,2.2.3节

的分析可知, 氮和磷在植物体内缺乏, 一定程度上反映出植物对这 2 种元素的吸收能力有限, 也可能对这些植物来说, 土壤中氮和磷有效态较为缺乏。钾和硫的生物吸收系数平均值也较大(分别为 89.11 和 31.25, 表 6), 说明大多数植物对土壤钾和硫有较高的含量要求。钙和镁的生物吸收系数的平均值相对较小, 部分植物的生物吸收系数甚至小于 10(展区二生物吸收系数较大), 表明土壤不缺乏这两种元素。6 种元素的生物吸收系数大小为氮>磷>钾>硫>钙>镁, 这在一定程度上反应了植物对土壤营养元素的需求顺序。

3 结论与讨论

通过各种植物 6 种元素质量分数平均值、背景值、氮磷比值的分析可知, 氮磷钾硫 4 种元素在 21 种植物体内较为缺乏; 土壤碱解氮、速效磷和速效钾在土壤中较为缺乏, 有效硫质量分数正常。植物和土壤元素质量分数特点说明, 植物中氮磷钾质量分数偏低, 可能与土壤中可供吸收利用的氮磷钾的多少有关系, 植物硫的质量分数偏低可能与植物本身有较大关系。生物吸收系数的特点也说明了这种状况的存在。

植物氮磷钾硫质量分数的偏低可能与元素间的相互作用相关。氮磷钾质量分数变化两两之间呈极显著正相关, 钙和镁呈正相关, 而钙和氮、钙和钾、镁和氮、镁和钾却呈极显著负相关。硫和磷呈显著正相关, 硫和钙、硫和镁呈极显著正相关。说明氮磷钾硫元素相互间和钙镁间存在协同作用, 而前者与后者之间可能存在拮抗作用。

这项研究涉及的 21 种植物中有 5 个长势较差, 11 种植物不能进入生殖生长阶段, 没有开花结实; 对已经结实的物种尚没有进行种子萌发方面的试验, 因此也无法评价这些物种的种子是否具有繁殖力。对于珍稀濒危植物的迁地保护来说, 土壤营养条件是迁地保护成功的主要限制因子之一, 选择合适的土壤并加以改善, 满足植物生长需求, 使植物能正常成活和繁殖, 是迁地保护重要的环节。鉴于该项研究结果, 笔者提出根据武汉植物园土壤的实际情况, 适当补充可供植物吸收的氮磷钾等元素, 以保证这些珍稀植物顺利生长繁殖, 达到“从种子到种子”的目的。

参考文献:

- [1] 徐爱源, 蔡国荣, 龚德海, 等. 木兰科稀有濒危植物种类迁地保护[J]. 江西林业科技, 2004 (5): 1—7.
- [2] 龚洵, 张启泰, 潘跃芝. 濒危植物的区系性质与迁地保护[J]. 云南植物研究, 2003, 25 (3): 354—360.
- [3] 万开元, 陈防, 李作洲, 等. 珍稀植物濒危机制及保育策略中的营养条件[J]. 生态环境, 2004, 13 (2): 261—267.
- [4] 许再富. 稀有濒危植物迁地保护的原理与方法[M]. 昆明: 云南科技出版社, 1998.
- [5] 万开元, 陈防, 陈树森, 等. 珍稀濒危植物迁地保护策略中植物营养问题的探讨[M] //陈防. 中国东南地区农林复合系统的植物营养与施肥. 北京: 中国农业出版社, 2005: 226—236.
- [6] 沈泽昊, 金义兴, 吴金清, 等. 三峡库区 2 种特有植物天然生境与迁地生境土壤特征的比较[J]. 武汉植物学研究, 1999, 17 (1): 46—52.
- [7] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999.
- [8] 鲁如坤. 我国土壤 N, P, K 的基本状况[J]. 土壤学报, 1989, 26 (3): 281—286.
- [9] 赵同科, 张国印, 马丽敏, 等. 河北省土壤硫含量、形态与分布[J]. 植物营养与肥料学报, 2001, 7 (2): 178—182.
- [10] 张仁椒, 朱其清, 梁颀捷, 等. 三明烟区土壤养分丰缺状况及施肥对策[J]. 中国烟草科学, 1999 (1): 8—10.
- [11] 陆景陵. 植物营养学: 上册[M]. 第 2 版. 北京: 中国农业大学出版社, 2003.
- [12] 薛纪渝, 王华东. 环境学概论[M]. 第 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2000: 7—125.
- [13] ZHANG L X, BAI Y F, HAN X G. Application of N:P stoichiometry to ecology studies [J]. *Acta Bot Sin*, 2003, 45: 1 009—1 018.
- [14] INGESTAD T. Mineral nutrient requirements of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* seedling [J]. *Physiol Plantarum*, 1979, 45: 373—380.
- [15] VICTOR O S. The N:P stoichiometry of cereal, grain legume and oilseed crops [J]. *Field Crops Res*, 2005, 95 (11): 1—

17.

- [16] 杜占池, 钟华平. 川东红池坝地区红三叶和鸭茅人工草地土壤和植物营养元素含量特征的研究[J]. 植物生态学报, 1998, 22(4): 350—355.
- [17] 廖金凤. 海南橡胶树枝和叶中的微量元素含量[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 1999, 38(增刊): 121—125.

Mass fraction and bioavailability of macronutrients of 21 ex-situ conservation rare plants in Wuhan Botanical Garden

ZHONG Zhi-xiang^{1,2}, XU You-ming¹, CHEN Fang², WAN Kai-yuan²

(1. College of Horticulture and Forestry Science, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, Hubei, China; 2. Wuhan Botanical Garden, China Academy of Sciences, Wuhan 430074, Hubei, China)

Abstract: Based upon the plant nutrient conservation strategy “ecological similarity” of ex-situ conservation, the nutrient status and the soil condition of 21 kinds of ex-situ conservation rare plants of Magnoliaceae and Lauraceae in Wuhan Botanical Garden were studied. The results showed that the sequence of average content of macronutrients in the soil was $\text{Ca} > \text{Mg} > \text{N} > \text{K} > \text{S} > \text{P}$. The sequence and the average content of macronutrients indicated that the contents of available nitrogen, phosphorus and potassium were low in the soil. And through the analysis of the average contents, background content and the ratio of N/P , it was found that the contents of phosphorus, sulphur and nitrogen were low in the plant leaves too. The bioavailability sequence of the 6 elements was $\text{N} > \text{P} > \text{K} > \text{S} > \text{Ca} > \text{Mg}$, which could reflect the demand sequence of plant in some way. Based upon the analysis of the nutrient status of plant leaves and soil, it was suggested that more N, P and K should be added in the soil to assure the success growth of rare plant “from seed to seed”. [Ch, 1 fig. 6 tab. 17 ref.]

Key words: botany; rare plant; ex-situ conservation; nutrient elements