

浙江及邻近地区蛇足石杉依存环境的初步研究

李沛玲, 黄朝表, 郭水良*, 钟艳斌

(浙江师范大学化学与生命科学学院, 浙江 金华 321004)

摘要:对浙江及邻近地区产的蛇足石杉(*Huperzia serrata*) 7个种群的自然环境进行野外观察,测定了土壤含水量、电导率、有机质含量、pH值,植株和土壤中K、Ca、Mg、Fe、Zn、Cu、Mn、Na、Al、Pb、Cd 11种元素的含量,以及植株中石杉碱甲(HupA)含量。结果表明,蛇足石杉种群多分布于海拔350-1700 m的山地密林下或沟谷阴湿土中,郁闭度、年均降雨量、空气相对湿度均较大;环境中土壤含水量为10%-30%,pH值4.57-5.31,电导率0.061-0.385 ms cm⁻¹,有机质含量6.18%-9.75%;蛇足石杉对K、Ca、Zn和Na的需要程度较高,对Pb、Cu、Cd 3种重金属元素的富集能力较强,在人工栽培中应注意协调各元素的合理配给;蛇足石杉较适宜生长的环境条件为:土壤电导率以及pH值相对较低;郁闭度高,年均降雨量和空气相对湿度较大。基于土壤理化性质,对7个种群分布点进行除趋势对应分析,表明石杉碱甲含量高的磐安种群分布点具有特殊性,提示环境条件对蛇足石杉中HupA含量有较大的影响。

关键词: 蛇足石杉; 环境; 土壤; 元素

中图分类号: Q948.11

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395(2005)03-0211-06

An Investigation on the Habitats of *Huperzia serrata* Populations in Zhejiang and Adjacent Area

LI Pei-ling, HUANG Chao-biao, GUO Shui-liang*, ZHONG Yan-bin

(College of Chemistry and Life Science, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, China)

Abstract: Natural environment of the growth of *Huperzia serrata* populations were investigated in Zhejiang and adjacent area. The water content, organic matter content, conductivity and pH in soils, and the content of K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, Mn, Na, Al, Pb and Cd in soils and plants as well as the content of huperzine A in plants were determined. The results showed that *Huperzia serrata* mostly grew under closed forests or in ravine with wet soils at altitude 350-1700 m, with over 1500 mm annual rainfall, 78% relative humidity, 10%-30% soil water content, 4.57-5.31 soil pH, 0.061-0.385 ms cm⁻¹ soil conductance, and 6.18%-9.75% organic matter. This plant absorbed more K, Ca, Zn and Na than other elements, meanwhile, the accumulation level of Pb, Cu and Cd was high, to which more attention should be paid in cultivation. It is suggested that shady habitats with sufficient rainfall and high relative humidity, and with soils of lower conductance, 4.75-5.31 pH, are good for the cultivation of the plant. The scatter plot produced using Detrended Correspondence Analysis (DCA) based on the soil indices showed that the environmental variables for Pan'an population are distinctly different from those for the other sites, revealing the special environmental conditions having some impacts on the huperzine A content in the plant.

Key words: *Huperzia serrata*; Environment; Soil; Elements

蛇足石杉 [*Huperzia serrata* (Thunb.) Trev.] 为蕨类植物, 属石杉科 (Huperiaceae) 石杉属, 又名千层塔、蛇足草、救命王、金不换等, 分布于全国各地, 其

体内的石杉碱甲 Huperzine A (HupA) 作为乙酰胆碱酯酶 (AchE) 抑制剂具有低毒、高效、可逆和高选择性等优点, 对重症肌无力、记忆力减退和老年性痴

收稿日期: 2004-09-21 接受日期: 2005-02-18

基金项目: 浙江省自然科学基金项目 (301028) 资助

* 通讯作者 Corresponding author

呆具有很好的疗效^[1-3]。

蛇足石杉是现存维管植物中的古老类群, 常分布于茂密的阔叶林、针阔混交林等特殊生境中, 植株生长极为缓慢, 配子体和孢子体阶段均需要与土壤中的特定真菌共生, 形成菌根才能生长^[4]。当前生境的恶化, 加之对野生药材的盲目采挖, 使其野生资源极为稀缺。因此, 急需对其开展种质资源保护和人工栽培工作。目前对蛇足石杉栽培所需要的环境条件了解得很少, 限制了引种栽培工作。由于不同产地的蛇足石杉有效成分的含量不同, 这也需要了解它们的环境特点^[5]。本文对蛇足石杉生境的土壤理化性质、土壤和植物的一些元素含量及植物中的石杉碱甲含量进行测定分析, 为高含量石杉碱甲种群的筛选与栽培提供参考。

1 材料和方法

材料 蛇足石杉 [*Huperzia serrata* (Thunb.) Trev.] 样品采自浙江金华北山、磐安大盘山、庆元百山祖、遂昌九龙山、大西坑、临安西天目山和福建武

夷山。各采集地的生境特点见表 1。每个种群随机选取 10 株左右植物样品, 用自来水和蒸馏水洗去表面尘土和杂质, 分成根、茎、叶压干, 保存于干燥器中备用。在采到蛇足石杉的地方随机采集适量土壤 (除去枯叶等覆盖物后的 0-5 cm 深土壤, 约 500 cm³), 每个样地约取 10 个点的土壤混合均匀, 作为此种群土壤样品。土样首先除去杂质, 自然风干后, 研磨, 用土壤筛 (孔径为 2 mm、1 mm、0.25 mm) 逐级筛选后取其细碎部分。

土壤含水量的测定 在各种群采集少量土壤用密封塑料袋带回, 在实验室将土样置于铝盒中, 称重后于 105℃ 烘 10 h, 然后每 2 h 称重一次, 直到恒重, 计算含水量。

土壤 pH 值测定 用 PH211C 型的酸度计测定^[6]。

土壤电导率测定 用 DDS-307 型电导仪测定^[7]。

土壤有机质含量测定 用石蜡加热的重铬酸钾-硫酸法测定^[8]。

表 1 蛇足石杉 7 个种群分布点的环境资料

Table 1 Environmental conditions of 7 populations of *Huperzia serrata*

居群 Population sites	经纬度 Longitude and latitude	海拔 Altitude (m)	郁闭度 Canopy density (%)	年均温度 Annual temperature (°C)	最热月均温 Mean temperature of hottest month (°C)	最冷月均温 Mean temperature of coldest month (°C)	年降水量 Annual precipitation (mm)	生境 Habitat
1. 浙西临安西天目山 Xitianmushan, Lin'an, West Zhejiang	(E)119°26' (N)30°1'	950-1100	90	8.7-14.9	20.5-21.9	-3.2-2.7	1535.6-1766.7	东南坡, 坡度 45°, 浙江楠-青栲-麻栎-苦槠林下, 地面以野灯芯草、苔草为主
2. 浙中金华北山 Beishan, Jinhua, Central Zhejiang	(E)119°37' (N)29°12'	389-460	90	15.1	26.4	3.6	1500-1800	地势平坦、开阔, 麻栎-木荷-冬青林下
3. 福建武夷山 Wuyishan, Fujian	(E)117°42' (N)27°45'	1300	90	8.5-18	16-26	-1-6	1486-2150	西北坡, 坡度约 60°, 地势平坦, 湿度不大, 甜槠-木荷-刚竹林下, 地被层有菝葜、狗脊等
4. 浙中磐安大盘山 Dapanshan, Pan'an, Central Zhejiang	(E)120°32' (N)29°03'	800-1700	90	13.9-17.4	25.6-28.8	2-4.3	1410-1528	青岗栎-苦槠-木荷-马尾松林下
5. 浙南遂昌大西坑 Daxikeng, Suichang, South Zhejiang	(E)118°45' (N)28°15'	911-1600	95	14-15	—	—	1600-2200	路边斜坡, 坡度约 45°-75°, 湿度较大, 周围有继木、杜鹃、箬竹、卷柏科和石松科植物
6. 浙南遂昌九龙山 Jiulongshan, Suichang, South Zhejiang	(E)118°45' (N)28°17'	700-760	95	11-16.2	23-31.9	-2-6.1	1855.6-3200	路边斜坡, 坡度约 45°-60°, 湿度高, 苔藓层生。青冈-杉木林下, 地被层箬竹、芒萁和卷柏科植物
7. 浙南庆元百山祖 Baishanzu, Qingyuan, South Zhejiang	(E)119°10' (N)27°40'	700-1200	80	12.8	22.2	2.9	2341.8	甜槠-木荷-青冈-马银花林下, 地被层有狗脊、苔草等

植株及土壤中部分元素含量的测定 精确称取样品 1.000 g, 用硝酸-高氯酸-硫酸法^[9]将样品进行硝化处理, 设一组对照。应用日本岛津 AA-670 型原子吸收/火焰发射分光光度计, 测定植物和土壤样品中 Pb、Cu、Fe、K、Na、Zn、Mn、Ca、Mg、Cd 10 种元素的含量。应用 752 型紫外分光光度计, 测定样品中 Al 元素的含量^[10]。

石杉碱甲含量的测定 蛇足石杉样品茎叶分离于 50℃ 烘干, 粉碎过 60 目筛。精确称取一定量, 加入 0.5% HCl 40 ml, 浸泡 48 h (浸泡过程中轻摇混匀两次), 定性滤纸过滤, 取过滤液一定量, 氨水调 pH 值 8-9, 氯仿萃取 5 次, 合并滤液并挥干, 甲醇定容至 20 ml, 0.45 μm 微孔滤膜过滤后进样。

仪器: Waters 高效液相色谱仪, Waters 1525 高压输出泵, Waters 2487 双波长紫外吸收检测器, Breeze 色谱工作站; 测定条件: C₁₈ 柱 (4.5 mm × 150 mm), 流动相: 甲醇: 水 (含 0.02% 三乙醇胺) = 65: 35, 流速: 0.8 ml min⁻¹, 柱温: 25℃, 检测波长: 310 nm, 进样量: 15 μl。试剂均为分析醇, 石杉碱甲对照品由浙江温岭制药厂赠送。

数据分析 应用 PC-ORD4.0 软件进行除趋势对应分析 (Detrended correspondence analysis, DCA), 对 7 个样地土壤特点进行排序。

2 结果和分析

2.1 土壤含水量、pH 值、电导率及有机质含量

蛇足石杉 7 个种群分布点的部分理化指标测定结果见表 2。各采集地的土壤含水量在 10%-30% 之间, 土壤 pH 值偏酸性 (4.57-5.31), 主要是因为采样点均位于长江以南亚热带典型红壤和黄壤区域, 黄

表 2 土壤含水量、pH 值、电导率、有机质含量

Table 2 Water contents, pH, conductivity and organic matter in soils

采集地点 Sampling sites	含水量 Water content (%)	pH	电导率 Conductivity (ms cm ⁻¹)	有机质含量 Organic matter (%)
西天目山 Xitianmushan	26.1	5.19	0.154	9.16
北山 Beishan	19.7	5.23	0.385	6.97
武夷山 Wuyishan	12.7	4.83	0.107	9.66
大盘山 Dapanshan	15.6	5.03	0.061	7.04
大西坑 Daxikeng	11.9	4.75	0.156	9.75
九龙山 Jiulongshan	30.1	4.57	0.096	9.66
百山祖 Baishanzu	19.7	5.31	0.194	6.18

棕壤、棕壤、黄褐土等 pH 稍低的土壤应该也适于蛇足石杉的生长^[11,12]。土壤的有机质含量在 6.18%-9.75% 之间, 属于有机质含量较高的土壤, 土壤有机质含量相差较大, 反映出蛇足石杉可以在不同肥力的土壤中生长。这也和它的生长环境有关, 它的根都分布在上层土壤中, 深度约 3-5 cm, 腐殖质非常丰富。

2.2 土壤和植物样品中矿质元素含量特点

土样和植物中 11 种矿质元素含量的测定结果见表 3。土壤中 11 种元素的含量依次为 Fe > K > Al > Mg > Ca > Mn > Na > Zn > Pb > Cu > Cd, 反映出不同元素在土壤中的含量差异, 有个别地区个别元素含量是其他地区的数倍, 这也一定程度反映出栽培蛇足石杉时所需要的矿质营养条件。不同元素在植物根、茎、叶中含量也不一样, Ca、K、Mg 3 种元素在茎、叶中的含量高于根中的, 其他 8 种元素根中的含量要高于茎、叶中的, 这与 Ca、K、Mg 是植物体的重要组成成分和它们在生命活动中的重要作用相关。蛇足石杉植株内必需元素 K、Ca、Zn 和有益元素 Na 的含量多数高于土壤中的含量, 据方海波等^[13]的观点, 提示蛇足石杉对这 4 种元素的需要程度较高, 在栽培中应注意补给。

所测土壤中 Fe 和 Mn 的含量普遍较高, 远远高出植物体内的含量。这对避免蛇足石杉因缺铁、锰性非正常生长是必要的。Al 在土壤中的含量非常高, 是植物必需的大量元素 K 的一半, 是植物中 Al 含量的 5.3 倍, 植物根内 Al 的含量又高于茎叶 (表 3), 这是与酸性土壤中 Al 的溶解度增加有关的。有研究表明过高的土壤 Al 含量容易引起铝毒害, 抑制菌根的形成, 从而降低植物对不良环境的抵抗能力^[14,15], 这对与真菌共生并生成菌根的蛇足石杉来说势必会受到影响。另外, Al 还可能抑制对 Ca、K 和 Zn 等营养元素的吸收和转运^[16], 表 3 反映出蛇足石杉分布点土壤 Al 的含量范围, 需要做深入的研究才能了解蛇足石杉生长所需要的土壤 Al 最适浓度范围。

由表 4 还可以看出, 在蛇足石杉生长的土壤中 Pb、Cu 两种元素的含量大部分低于土壤环境质量标准 GB15618-1995^[17]中一级标准的 35 mg kg⁻¹, 而 Cd 元素则普遍高于标准中的 0.20 mg kg⁻¹; 植株中 Pb、Cd 两种重金属的含量均高于 2001 年颁布的药用植物及制剂进出口绿色行业标准^[18]规定的 5 mg kg⁻¹ 和 0.3 mg kg⁻¹, 而 Cu 元素过量的 (>20 mg kg⁻¹) 多分布

表 3 植物及土壤样品中 11 种元素的含量(mg kg⁻¹)
Table 3 Contents (mg kg⁻¹) of 11 elements in plants and soils

采集地点 Sampling sites		K	Ca	Mg	Fe	Zn	Cu	Mn	Na	Al	Pb	Cd
西天目山 Xitianmushan	叶Leaf	8697.00	1139.50	1092.50	444.00	146.75	17.25	132.75	820.75	218.50	31.00	1.62
	茎Stem	8278.25	975.00	684.50	252.75	53.25	15.75	140.50	870.75	104.40	16.50	0.60
	根Root	2164.00	2315.25	723.75	895.75	760.00	45.00	934.75	1772.75	391.30	189.25	13.75
	土壤Soil	3237.50	814.50	2240.75	9390.75	110.00	20.25	637.00	217.50	1720.92	26.75	0.90
金华北山 Beishan	叶Leaf	12906.25	1942.50	2217.50	1851.25	493.25	ND	520.75	914.50	571.45	25.00	4.60
	茎Stem	6187.50	1740.00	1390.75	1155.00	272.00	13.75	406.25	694.50	272.35	45.50	7.43
	根Root	8315.75	2589.50	1880.00	2370.75	113.00	19.50	421.25	1775.75	599.61	28.75	9.05
	土壤Soil	2762.50	1977.50	1577.50	11631.25	151.25	52.50	781.25	325.00	1473.64	54.50	2.33
武夷山 Wuyishan	叶Leaf	9987.50	454.50	1325.75	920.50	704.50	19.50	212.75	637.00	406.59	ND	2.15
	茎Stem	11753.25	853.25	1392.50	449.00	288.75	12.75	122.50	897.50	324.17	11.50	1.02
	根Root	7002.00	129.75	592.75	1356.50	283.00	22.75	104.50	1103.50	1300.30	7.75	3.26
	土壤Soil	1272.00	7.00	298.25	6334.50	48.50	10.75	455.25	81.50	1803.35	24.25	0.87
大盘山 Dapanshan	叶Leaf	14075.00	222.50	886.25	1169.50	305.00	22.75	180.75	1010.00	338.30	53.75	7.32
	茎Stem	16503.25	267.00	842.00	223.00	117.50	4.75	70.75	398.75	240.56	11.00	1.51
	根Root	10284.25	ND	854.75	3929.25	163.25	23.00	256.75	480.75	1161.20	76.00	1.55
	土壤Soil	7537.50	ND	328.00	10152.50	31.75	57.00	153.50	211.25	212.60	6.00	1.58
大西坑 Daxikeng	叶Leaf	10665.75	381.25	805.00	435.50	191.25	18.25	135.50	597.50	246.45	91.00	7.56
	茎Stem	7187.50	952.50	1000.00	94.50	219.25	8.00	105.75	1138.25	224.08	15.75	2.22
	根Root	2472.00	9.75	305.75	6240.75	48.75	7.50	520.25	133.25	1885.77	16.25	0.63
九龙山 Jiulongshan	叶Leaf	11806.25	1158.25	1695.00	442.00	202.00	23.50	156.25	1562.00	373.53	5.00	2.08
	茎Stem	12018.75	538.25	1968.75	158.50	160.50	9.00	130.00	1199.50	251.16	24.50	2.48
	根Root	14668.00	1045.00	808.50	965.75	646.50	104.25	127.25	3087.25	487.54	82.75	11.43
	土壤Soil	4097.00	464.75	1261.25	10540.75	85.25	24.25	191.25	170.50	3287.03	53.50	1.08
百山祖 Baishanzu	叶Leaf	10053.25	1333.25	1747.50	950.50	630.75	12.50	198.50	1316.25	341.83	18.75	2.51
	茎Stem	11809.50	469.75	774.50	294.50	173.00	12.00	82.00	957.50	128.42	9.75	1.17
	根Root	4424.00	287.00	496.75	1541.75	102.00	33.25	74.25	1783.75	542.25	34.00	7.24
	土壤Soil	4893.75	ND	895.00	10937.50	94.75	19.00	205.75	256.50	2615.84	30.25	0.92
植物样品中平均值 Average in plants		9583.76	940.19	1118.32	1244.81	289.25	22.25	239.71	1102.46	495.70	39.69	4.34
土壤中平均值 Average in soils		3966.71	815.94	1100.13	9831.21	86.92	30.63	404.00	210.38	1852.23	32.54	1.28

ND: 未检测到。Not detected.

在根中,叶中也有部分超标。如果仅从植物中提取生物碱单体,则其成品中重金属的含量会大大降低,但是,如果以茎叶入药,则植株中的超标现象会影响药物的质量和人体的健康。

某元素的富集系数是指此元素在植物器官中的含量与土壤中的含量的比值,蛇足石杉对 3 种有害重金属的富集能力比某些杂草还要强(表 4),其中对镉元素的富集能力最强,是杂草富集能力的 3.77 倍^[19],说明这 3 种元素容易在蛇足石杉植株内富集,提示在人工栽培中应控制栽培基质中 Pb、

Cu、Cd 的含量,以减少药材中重金属的污染。

与人为干扰严重的金华城郊环境^[19]相比,蛇足石杉对环境条件的要求较高,也提示着蛇足石杉对环境污染的敏感程度。

目前从自然环境中采集到的蛇足石杉,其体内重金属元素的含量还是相当低的。植物体内矿质元素含量的多少,与植物种类和土壤条件有关。植物体内的矿质元素的浓度与其生活环境中的浓度可以相差很大,这表明植物对于矿质元素是有选择性的吸收^[20]。

表 4 蛇足石杉不同器官中 3 种重金属元素的含量(mg g⁻¹)及富集系数

Table 4 Contents and accumulation coefficient (AC) of heavy metal elements in different parts of *Huperzia serrata*

居群 Population	部位 Part	Cu		Pb		Cd	
		含量Content	AC	含量Content	AC	含量Content	AC
西天目山Xitianmushan	叶Leaf	17.25	0.85	31.00	1.16	1.62	1.81
	茎Stem	15.75	0.78	16.50	0.62	0.60	0.67
	根Root	45.00	2.22	189.25	7.07	13.75	15.31
北山Beishan	叶Leaf	—	—	25.00	0.46	4.60	1.98
	茎Stem	13.75	0.26	45.50	0.83	7.43	3.19
	根Root	19.50	0.37	28.75	0.53	9.05	3.89
武夷山Wuyishan	叶Leaf	19.50	1.81	—	—	2.15	2.46
	茎Stem	12.75	1.19	11.50	0.47	1.02	1.14
	根Root	22.75	2.12	7.75	0.32	3.26	3.74
大盘山Dapanshan	叶Leaf	22.75	0.40	53.75	8.96	7.32	4.63
	茎Stem	4.75	0.08	11.00	1.83	1.51	0.96
	根Root	23.00	0.40	76.00	12.67	1.55	0.98
大西坑Daxikeng	叶Leaf	18.25	2.43	91.00	5.60	7.56	12.08
	茎Stem	8.00	1.07	15.75	0.97	2.22	3.56
九龙山Jiulongshan	叶Leaf	23.50	0.97	5.00	0.09	2.08	1.93
	茎Stem	9.00	0.37	24.50	0.46	2.48	2.30
	根Root	104.25	4.30	82.75	1.55	11.43	10.63
百山祖Baishanzu	叶Leaf	12.50	0.66	18.75	0.62	2.51	2.78
	茎Stem	12.00	0.63	9.75	0.32	1.17	1.31
	根Root	33.25	1.75	34.00	1.12	7.24	8.03
平均值Mean		23.03	1.19	40.92	2.40	4.53	4.17

2.3 基于土壤理化性质和元素含量的除趋势对应分析

除趋势对应分析是一种间接排序方法,能够将分析对象作为点在二维和三维空间加以排列,可客观地反映分析对象间的相似关系,适合于非线性的

数据,在生态学和统计学上已得到广泛应用^[2]。基于土壤的理化指标和元素含量数据,应用除趋势对应分析,对 7 个种群样地进行排序,得到散点图(图 1),可以看出,4 号磐安大盘山样品在图中的位置明显区别于其它 6 个种群,说明其土壤性质具有自身特征。进一步分析表明,4 号种群分布地的土壤样品有机质含量相对偏低,电导率也明显偏低,而 K 和 Cu 这两种元素的含量明显高于其它样地,Zn、Al 和 Pb 的含量则是 7 个样地中最低的。

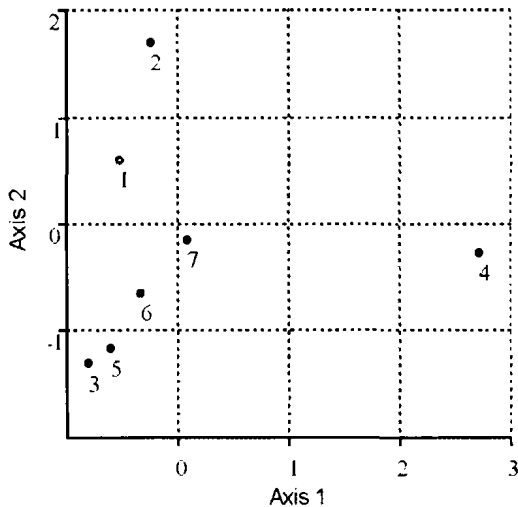


图 1 土壤理化性质及元素含量的除趋势对应分析
Fig. 1 The detrended correspondence analysis (DCA) of the characters of the soils

序号 1-7 分别代表:西天目山(1)、北山(2)、武夷山(3)、大盘山(4)、大西坑(5)、九龙山(6)和百山祖(7)种群采集点。The number 1-7 are for populations Xitianmushan (1), Beishan (2), Wuyishan (3), Dapanshan (4), Daxikeng (5), Jiulongshan (6), and Baishanzu (7), respectively.

2.4 环境条件与石杉碱甲含量关系

7 个种群中蛇足石杉的石杉碱甲 (HupA) 含量(茎叶平均值)依次为大盘山(0.475 mg g⁻¹)>九龙山(0.108 mg g⁻¹)>武夷山(0.094 mg g⁻¹)>大西坑(0.070 mg g⁻¹)>北山(0.062 mg g⁻¹)>西天目山(0.029 mg g⁻¹)>百山祖(0.021 mg g⁻¹)。采自磐安大盘山的蛇足石杉的石杉碱甲的含量最高,是遂昌九龙山的 4 倍多,更远远高于其它种群,说明大盘山的环境特点较适宜蛇足石杉中石杉碱甲的合成和积累。从图 1 也可以看出,大盘山土壤明显与众不同。同时,3 号武夷山、5 号大西坑和 6 号九龙山 3 个种群的石杉碱甲含量较接近,而它们在图 1 中的位置也较接近。综合分析各种群的环境特点发现,蛇足石杉的石杉碱甲含量与环境条件的综合作用之间

确实存在某种关系,但各气候、环境因子及土壤性质对蛇足石杉生长及其体内石杉碱甲含量的具体影响,有待开展更深入的研究。

通过本研究,我们认为适宜蛇足石杉生长的一般环境条件为:海拔 300 m 以上,环境的郁闭度较高,年均降雨量 1 500 mm 以上,空气相对湿度 78% 以上;电导率在 0.061–0.385 ms cm⁻¹ 之间,有机质含量在 6.18%–9.75% 之间,土壤含水量在 11.9%–30.1% 之间的偏酸性(pH 4.75–5.31)土壤。但对于高 HupA 含量的蛇足石杉种群,较适宜生长的环境条件是电导率以及 pH 值相对较低,郁闭度高,年均降雨量、空气相对湿度偏大,对 Ca、Mg 等元素利用率较高且土壤中 Al 的含量较高等。在蛇足石杉优质高产栽培过程中,应该注意磐安产种群的环境特点。

参考文献

- [1] Cheng Y S(程源深), Lü C Z(吕传真), Ying Z L(应智林), et al. 128 cases of myasthenia gravis treated with huperzine A [J]. *New Drugs Clinical Remedies* (新药与临床), 1986, 5(4):197–199. (in Chinese)
- [2] Wang Y E(王月娥), Yue D X(岳冬贤), Tang X C(唐希灿). Anticholinesterase activity of huperzine A [J]. *Acta Pharmacol Sin* (中国药理学报), 1986, 7(2):110–113. (in Chinese)
- [3] Zhang C L(张慈禄). Therapeutic effects of huperzine A on the aged with memory impairment [J]. *New Drugs Clinical Remedies* (新药与临床), 1986, 5(5):260–262. (in Chinese)
- [4] Lu R L(鲁润龙), Zhou Z Z(周忠泽), Bao S L(鲍时来), et al. Biological features of *Huperzia serrata*: An important medicine plant [J]. *J Univ Sci Techn Chin* (中国科学技术大学学报), 1999, 29(1):119–121. (in Chinese)
- [5] Sun Y M(孙远明), Yu H Y(余红英), Yang Y S(杨跃生), et al. Determination of hupzine A in *Huperzia serrata* by HPLC [J]. *Chin Trad Herbal Drugs* (中草药), 2002, 33(12):1078–1080. (in Chinese)
- [6] Liu F(刘芬). Determination of soil pH in Zhuzhou area [J]. *Agro-environ Protect* (农业环境保护), 1998, 17(2):84–85, 88. (in Chinese)
- [7] Nanjing Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences(中国科学院南京土壤研究所). *Soil Physical and Chemical Analysis* [M]. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers, 1978. (in Chinese)
- [8] Zhang Y(张岩), Li X W(李大为), Xu W P(徐文萍). Determination of organic matter in soil by heating up with oven [J]. *Modern Agri* (现代化农业), 1994, (6):9. (in Chinese)
- [9] Huang C B(黄朝表), Guo S L(郭水良), Chen X M(陈旭敏), et al. Absorption and accumulation of four heavy metals by eleven weeds in Jinhua, Zhejiang [J]. *Agro-environ Protect* (农业环境保护), 2001, 20(4):225–228. (in Chinese)
- [10] Qiu G K(邱光葵), Pang S W(庞叔薇). Spectrophotometric determination of activated aluminium in soil using Eriochrome Cyanine R [J]. *J Instru Analy* (分析测试通报), 1989, 8(4):68–71. (in Chinese)
- [11] Wu Z H(吴兆洪), Zhu J N(朱家楠), Yang C Y(杨纯瑜). *A Dictionary of the Extant and Fossil Families and Genera of Chinese Ferns Vol. 6* [M]. Beijing: China Science and Technology Press, 1992. 54. (in Chinese)
- [12] Zhou H G(周厚高), Li Y(黎桦), Huang Y Y(黄玉源), et al. *The Preliminary Study on Pteridophyte Flora from Guangxi, China* [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2000. 51. (in Chinese)
- [13] Fang H B(方海波), Tian D L(田大伦), Kang W X(康文星). Nutrient study of understory vegetation in the thinned Chinese fir plantation II. Contents of nutrient in the soil and accumulation index of plants to the soil [J]. *J Central South For Univ* (中南林业学院学报), 1998, 18(3):92–95. (in Chinese)
- [14] Liu Y(刘营), Kong F X(孔繁翔), Zhang M(章敏). Mycorrhizae and effects of acid precipitation on it [J]. *Res Environ Sci* (环境科学研究), 1997, 10(6):15–19. (in Chinese)
- [15] Liu R A(柳若安), Liu H T(刘厚田). Effect of acidity and aluminium on the growth of *Pinus massoniana* seedlings [J]. *Acta Bot Sin* (植物学报), 1995, 37(2):154–158. (in Chinese)
- [16] Gao J X(高吉喜), Cao H F(曹洪法), Sun D L(孙德玲), et al. Effects of aluminium on the growth of masson pine [J]. *China Environ Sci* (中国环境科学), 1992, 12(2):118–121. (in Chinese)
- [17] http://www.jjyz.net/xxttd/huan-bao-teaching/law/soil_bz.htm. 土壤环境质量标准 GB 15618–1995 [DB/OL].
- [18] <http://www.aqstinfo.gov.cn/aqcnkj/nybz/wm2%AA2001.htm>. 药用植物及制剂进出口绿色行业标准 WM2–2001 [DB/OL].
- [19] Guo S L(郭水良), Huang C B(黄朝表), Bian Y(边媛), et al. On absorption and accumulation of six heavy metal elements of weeds in Jinhua suburb (II)-PCA on relationship between weeds and soil in metal element content [J]. *J Shanghai Jiaotong Univ* (Agri Sci) (上海交通大学学报 农业科学版), 2002, 20(2):137–140. (in Chinese)
- [20] Cao Z Y(曹仪植), Song Z W(宋占午). *Plant Physiology* [M]. Lanzhou: Lanzhou University Publishers, 1998. 49. (in Chinese)
- [21] Zhang J T(张金屯). *Methods of Quantitative Vegetation Ecology* [M]. Beijing: China Science and Technology Press, 1995. (in Chinese)