

青檀天然群落土壤成分及其对青檀生长的影响

汪殿蓓, 李建华, 陈玉兰, 刘仁阳

孝感学院生命科学技术学院, 湖北 孝感 432000

摘要: 对湖北省三潭风景区青檀(*Pteroceltis tatarinowii*)天然群落土壤主要元素进行测定, 并通过因子相关分析, 探讨了土壤成分与青檀生长指标之间的相关性, 研究结果可为青檀野生资源的保护和合理利用提供科学依据。结果表明, 土壤水溶性 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 平均质量分数为 3.598 和 0.176 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 速效钾、全氮、有效磷的平均质量分数分别是 133.324 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、4.413 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 3.569 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 有机质平均质量分数为 3.295%。土壤水溶性 Ca^{2+} 与青檀生长指标之间无显著相关关系; 土壤可溶性 Mg^{2+} 与乔木、灌木的丛生植株数量呈显著正相关, 当 Mg^{2+} 浓度处于 0.191~0.221 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间时, 青檀的丛生植株数量大; 全氮与青檀乔木平均高度、平均胸径呈极显著正相关, 与单生植株数量呈显著负相关; 有效磷与乔木平均高度和胸径呈显著正相关; 速效钾与乔木丛生植株数量及乔木总数量呈显著正相关; 有机质灌木冠幅呈显著正相关。按土壤成分可将青檀群落聚成 3 类, 3 个聚类组的土壤水溶性 Mg^{2+} 、全氮(TN)、速效钾(TK)、有效磷(TP)、有机质以及青檀乔木植株总数量存在着显著差异。
关键词: 青檀; 天然群落; 土壤成分; 相关性分析

中图分类号: S153.6

文献标识码: A

文章编号: 1674-5906 (2010) 10-2318-07

青檀(*Pteroceltis tatarinowii*)为榆科青檀属落叶乔木, 是中国特有的单种属植物及特有的纤维树种, 其茎皮、枝皮是制作宣纸的优质材料^[1]。青檀在我国分布较广, 北至辽宁, 西至青海、四川, 东至江苏, 南至两广都有分布, 多呈零星状态分布于海拔 100~1 500 m 的山谷、溪边的石灰岩山地疏林中^[2], 除造纸外, 还具材用、药用、饲料、景观、生态防护和科学研究等诸多功能^[3]。

青檀作为优质的宣纸制作原料, 对它的研究报道较多。如青檀种子的休眠机理^[4]、种子的活力^[5]、盐胁迫对青檀种子萌发及幼苗生长的影响^[6]、一年生播种苗生长发育规律^[7]、青檀叶的解剖结构及其生态适应性特征^[8]、立地条件^[9-10]、经营措施^[11]、成土母岩和条龄^[12-13]对青檀人工林生产力(生物量)、檀皮产量及檀皮中矿质元素含量的影响等。由于生境条件恶化, 目前大面积分布的天然青檀林已不多见, 上述研究报道主要是针对人工林的。天然青檀林作为宝贵的基因库、资源库, 对它的研究刻不容缓。对青檀天然林群落结构特征及多样性研究目前有少量报道^[14-16], 而有关青檀野生群落土壤成分分析的研究还未见报道。

土壤是植物生长的物质基础, 土壤的理化特性对植物的生长发育及次生代谢产物积累都有影响, 研究青檀群落土壤成分对了解群落分布、促进群落发育具有重要意义。本课题通过测定土壤水溶性 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、土壤全氮(TN)、有效磷(AP)、速效钾(AK)、有机质等指标, 探讨青檀天然群落土壤成分的分布规律, 以及它们对青檀植株生长的影响, 从

而为青檀野生资源的保护和合理利用提供科学的依据。

1 研究地及研究方法

1.1 研究地概况

湖北省三潭风景区位于湖北省广水市(N 31.37°, E 113.48°)北35 km, 河南信阳市南37 km处, 地处桐柏山脉南麓、大别山西端, 属低山丘陵地带。属北亚热带大陆性季风气候, 年均气温13~14 °C, 年降水量990 mm; 平均无霜期221 d, 全年日照数2 083 h, 植被为常绿落叶阔叶混交林^[17]。风景区内有保存完好的野生青檀群落, 集中分布于大涧沟一带, 分布海拔范围200~500 m; 青檀一般生长在山坡及山谷溪流两侧, 或裸露岩石周围或穿缝入隙在岩缝中。

1.2 研究方法

1.2.1 群落调查及土壤取样

全面勘查三潭风景区青檀的分布状况, 在青檀集中分布的沟谷两侧设置样方, 每个样方面积 $10\times 10\text{ m}^2$, 共调查 28 个样方。胸径(Diameter at Breast Height, DBH) $\geq 2\text{ cm}$ 的树种作为乔木层种类进行每木调查, 记录种名, 测量胸径、高度; 胸径 $< 2\text{ cm}$ 的树种作为灌木层种类, 记录种名, 测量其冠幅、高度、株数。用 GPS 测量各个样方经度、纬度、海拔(表 1)。

在样方的四个角及中心 5 点位置, 去除土壤上的覆盖物, 用取土钻取 5 个土样混合, 装袋。重复 3 次。

1.2.2 土壤成分测定

基金项目: 湖北省教育厅科学技术研究重大项目(Z20092601)

作者简介: 汪殿蓓(1968年生), 女, 副教授, 博士, 主要研究方向为植物生态学和生物多样性保护。E-mail: wangdp@scbg.ac.cn

收稿日期: 2010-10-09

表 1 28 个样方的经纬度及海拔
Table 1 Longitude, Latitude and Altitude of 28 plots

样方	纬度	经度	海拔/m	样方	纬度	经度	海拔/m
1	31°50'59"	113°55'57"	261.8	15	31°50'17"	113°56'21"	412.9
2	31°50'59"	113°55'59"	265.7	16	31°50'19"	113°56'23"	364.4
3	31°50'59"	113°55'59"	245.7	17	31°50'23"	113°56'24"	354.6
4	31°50'59"	113°55'59"	239.9	18	31°50'24"	113°56'24"	371.8
5	31°50'59"	113°55'59"	239.9	19	31°50'24"	113°56'25"	353.6
6	31°50'59"	113°55'59"	239.9	20	31°50'25"	113°56'24"	351.5
7	31°50'9"	113°56'13"	456.6	21	31°50'25"	113°56'25"	350.4
8	31°50'9"	113°56'13"	452.1	22	31°50'26"	113°56'26"	355.1
9	31°50'9"	113°56'13"	450.3	23	31°50'24"	113°56'27"	366.7
10	31°50'8"	113°56'15"	430.7	24	31°50'26"	113°56'27"	345.3
11	31°50'8"	113°56'15"	440.3	25	31°50'26"	113°56'26"	366.9
12	31°50'8"	113°56'15"	445.5	26	31°50'27"	113°56'26"	331.7
13	31°50'15"	113°56'20"	416.9	27	31°50'28"	113°56'27"	362.1
14	31°50'16"	113°56'20"	413.7	28	31°50'33"	113°56'31"	321.6

采用原子吸收分光光度法测定土壤水溶性 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 质量分数^[18], 半微量凯氏法测定全氮^[18], 碳酸氢钠-钼锑抗试剂显色, 分光光度计法测定土壤有效磷^[18], $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 乙酸铵浸提-火焰光度计法测土壤速效钾^[18], 重铬酸钾-硫酸氧化法测定有机质^[18]。

1.2.3 数据分析

采用 SPSS 18.0 进行方差统计、聚类以及因子相关分析。

2 结果与分析

2.1 各样方土壤水溶性 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、全氮、有效磷、速效钾、有机质质量分数

28 个样方中土壤水溶性 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、全氮、有

表 2 各样方的水溶性 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、全氮、有效磷、速效钾、有机质质量分数
Table 2 Water-soluble Ca^{2+} , Mg^{2+} , total N, available P, available K and organic matter of 28 plots

样方	$w(\text{水溶性Ca}^{2+})/(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$	$w(\text{水溶性Mg}^{2+})/(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$	$w(\text{全氮})/(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$	$w(\text{有效磷})/(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$	$w(\text{速效钾})/(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$	$w(\text{有机质})/\%$
1	2.958±0.040 5	0.184±0.003 1	2.166±0.366 8	2.696±0.272 8	78.685±2.932 5	2.205±0.515 5
2	3.956±0.027 2	0.200±0.013 8	2.772±0.168 5	2.607±0.194 0	191.738±9.894 6	1.832±0.174 7
3	3.869±0.039 9	0.221±0.007 4	4.571±0.165 5	3.924±0.427 7	177.911±5.079 3	3.253±0.423 8
4	2.829±0.031 3	0.216±0.009 2	3.066±0.114 5	3.035±0.358 0	141.312±2.817 5	3.741±0.547 6
5	3.673±0.027 5	0.198±0.011 8	3.744±0.252 6	2.817±0.105 0	190.111±4.880 0	3.284±0.138 1
6	3.067±0.045 3	0.200±0.013 6	1.744±0.420 6	1.386±0.234 7	79.499±1.626 7	1.372±0.044 6
7	3.911±0.065 7	0.274±0.056 7	4.754±0.733 0	3.666±0.308 9	132.365±2.932 5	2.952±0.197 5
8	3.942±0.063 0	0.196±0.018 2	3.946±0.322 8	2.324±0.168 8	110.405±7.090 5	4.347±0.445 5
9	3.837±0.042 4	0.201±0.004 7	4.571±0.110 5	3.949±0.491 0	99.019±1.626 7	3.896±0.617 7
10	3.385±0.031 7	0.209±0.007 4	5.011±0.437 1	3.124±0.266 3	113.659±1.626 7	1.012±0.136 5
11	3.942±0.021 0	0.191±0.009 7	7.085±0.260 5	5.169±0.328 3	160.832±14.087 1	8.842±0.374 2
12	3.883±0.060 7	0.168±0.005 2	3.249±0.198 3	2.728±0.261 0	123.419±12.704 7	1.126±0.160 2
13	3.000±0.045 3	0.171±0.015 2	5.947±0.252 6	5.484±0.223 3	178.725±9.0565 7	2.962±0.297 3
14	3.795±0.063 0	0.176±0.005 0	4.644±0.606 3	2.800±0.207 2	129.925±13.314 8	2.550±0.161 5
15	3.869±0.033 6	0.186±0.002 2	7.306±0.084 0	4.700±0.063 1	273.070±4.879 7	5.575±0.260 4
16	3.851±0.036 6	0.157±0.013 5	4.369±0.979 3	4.498±0.154 2	116.912±9.760 0	3.840±0.083 3
17	3.063±0.088 2	0.153±0.006 9	4.112±0.031 8	3.762±0.137 3	142.938±11.729 7	1.343±0.433 7
18	3.200±0.097 2	0.140±0.001 8	4.112±0.031 8	3.479±0.124 4	103.899±3.253 3	4.075±0.729 2
19	3.112±0.037 9	0.136±0.002 6	5.029±0.727 2	2.679±0.024 3	113.659±4.303 8	1.849±0.301 7
20	3.907±0.024 7	0.141±0.004 3	4.681±0.110 0	5.113±0.148 3	178.724±6.506 7	6.789±2.844 8
21	3.865±0.060 6	0.136±0.002 0	5.874±0.168 0	3.463±0.021 5	136.432±7.454 3	2.763±1.151 4
22	3.235±0.091 0	0.148±0.002 0	5.654±0.176 8	4.838±0.169 7	108.779±11.386 7	4.793±2.649 3
23	3.788±0.021 5	0.149±0.003 7	4.057±0.063 5	4.070±0.198 6	97.392±0.000 0	3.617±0.615 6
24	3.494±0.059 8	0.159±0.000 3	4.369±0.222 7	3.366±0.091 0	99.019±4.303 8	4.782±0.716 8
25	3.788±0.051 6	0.152±0.001 2	3.671±0.115 1	3.423±0.350 0	103.899±9.056 9	2.610±0.510 2
26	3.792±0.003 3	0.152±0.003 8	4.681±0.055 0	3.569±0.077 0	115.285±5.865 0	3.790±0.144 4
27	3.960±0.056 3	0.158±0.003 2	4.626±0.198 9	4.369±0.175 0	108.779±5.865 0	1.052±0.111 1
28	3.785±0.087 4	0.161±0.002 3	3.763±0.115 1	2.898±0.014 1	126.672±5.634 9	2.019±0.071 9
平均	3.598±0.041 3	0.176±0.004 0	4.413±0.139 2	3.569±0.110 3	133.324±4.677 2	3.295±0.233 8

±后面的数据均表示标准误

效磷、速效钾及有机质等质量分数如表 2。青檀群落土壤中的 3 种金属元素(Ca、Mg、K), 以土壤可溶性 Ca^{2+} 的质量分数最大, 最大值达到 $3.960 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (样方 27), 总体平均质量分数为 $3.598 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 说明青檀主要生长在含钙质丰富的土壤中; 其次为 Mg^{2+} , 最高质量分数达到 $0.274 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (样方 7), 最低为 $0.136 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (样方 19、21), 总体平均质量分数 $0.176 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$; K 的质量分数相对较低, 最高为 $273.070 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (样方 15), 最低为 $78.685 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (样方 1), 总体平均质量分数为 $133.324 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

土壤全氮质量分数较高, 最高达到 $7.306 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (样方 15), 最低为 $1.744 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (样方 6), 总体平均 $4.413 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。P 的质量分数相对偏低, 最高为 $5.484 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (样方 13), 最低为 $1.386 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (样方 6), 总体平均为 $3.569 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。有机质的最高质量分数为 8.842% (样方 11), 最低为 1.012% (样方 10)。总体平均为 3.295% 。

2.2 各样方青檀的数量、植株高度、胸径

调查表明青檀野生群落平均高度 16.2 m , 乔木层以青檀为优势种, 其次为小叶朴 (*Celtis bungeana*)、锐齿槲栎 (*Quercus aliena* var. *acuteser-*

rata)、朴树 (*Celtis sinensis*)、豹皮樟 (*Litsea coreana*) 等, 灌木层中以青檀幼树为优势种, 其次为锐齿槲栎幼树、建始槭 (*Acer henryi*)、山胡椒 (*Lindera glauca*)、六道木 (*Abelia dielsii*) 等。群落外貌青绿色, 林木呈单株或多株丛生状态(萌生)生长。

各样方乔木层和灌木层的青檀分布数量、植株平均高度和平均胸径等指标如表 3。根据青檀的 2 种生长状态, 分别统计各样方中单生植株和丛生植株数量, 总株数表示单生植株与丛生植株之和, 平均高度为样方中所有植株高度的平均值, 平均胸径为样方中所有植株胸径的平均值。

乔木层单生植株数量变化范围为 2~24, 样方 5 单生植株数量最少, 样方 2 中最多; 丛生植株数量变化范围为 0~23, 样方 1 最少, 样方 3 最多; 乔木层总株数为 5~26, 其中样方 1、样方 19 最少, 样方 2 最多, 100 m^2 样方中有 26 株。灌木层单生植株数量在 0~46 间变化, 其中样方 7 等 5 个样方中单生植株最少, 样方 26 的最多; 丛生植株数量变化范围为 0~5, 其中样方 1、样方 14 等 12 个样方无丛生植株, 样方 3 最多, 5 株; 灌木总株数变化范围为 1~46, 其中样方 1、样方 7 等 10 个样方的

表 3 青檀乔木和灌木的数量、植株高度、胸径等指标

Table 3 Number, average height and DBH of *Pteroceltis tatarinowii* trees and shrubs

样方号	乔木					灌木				
	单生植株数/株	丛生植株数/株	总株数/株	平均高度/m	平均胸径/cm	单生植株数/株	丛生植株数/株	总株数/株	平均高度/m	平均冠幅/ m^2
1	5	0	5	7.10	4.40	1	0	1	0.20	0.03
2	24	2	26	8.50	6.70	2	1	3	0.99	0.65
3	10	23	20	12.10	8.60	1	5	6	1.03	1.70
4	15	14	23	8.30	6.80	7	1	8	1.78	0.98
5	2	9	8	9.50	8.90	1	3	4	0.77	0.31
6	11	16	19	12.80	10.50	5	1	5	1.43	1.69
7	7	2	9	17.80	16.80	0	1	1	1.12	0.60
8	12	8	15	14.40	10.90	0	1	1	1.50	0.68
9	11	4	13	13.40	11.80	2	1	3	1.65	2.14
10	9	4	11	25.10	22.90	0	1	1	1.20	0.48
11	4	3	6	15.10	11.30	5	2	7	2.09	3.47
12	14	12	19	19.10	13.90	1	3	4	1.43	0.83
13	8	12	12	25.20	18.80	1	2	3	1.90	0.33
14	11	6	15	20.00	19.10	2	0	2	3.25	3.03
15	12	12	22	17.40	14.50	1	0	1	0.78	0.08
16	7	1	8	27.20	21.80	0	1	1	2.20	1.12
17	10	4	15	19.40	14.80	2	0	2	0.86	0.05
18	5	2	7	20.00	15.30	1	0	1	0.60	0.04
19	3	2	5	19.70	15.40	0	1	1	2.40	0.64
20	14	2	16	12.50	8.90	1	0	1	2.20	0.80
21	5	2	7	19.00	15.80	1	0	1	1.66	0.26
22	3	6	7	31.80	24.00	1	2	3	2.44	1.03
23	6	2	7	16.60	16.10	6	0	6	1.76	1.29
24	15	6	20	21.60	17.50	9	2	11	1.75	0.52
25	9	5	14	16.50	13.30	8	0	8	1.05	0.34
26	8	1	9	15.50	15.70	46	0	46	0.83	0.51
27	5	4	7	20.60	16.90	2	0	2	0.67	0.14
28	9	3	12	15.10	12.10	24	0	24	0.93	0.88

总株数均为 1，样方 26 最多，46 株。这表明不同样方中青檀乔木和灌木数量变化较大。

2.3 青檀群落的聚类分析

按土壤成分采用 SPSS 软件中系统聚类法进行聚类(图 1)。当 Pearson 相关性系数为 22.5 时，可将 28 个样方聚为 3 类，第一组包括样方 16、23、11、22、18、26、24 和 25；第二组包含样方 17、27、10、13、19、21、15 和 20；第三组包含样方 4、6、1、7、12、28、3、14、2、5、8 和 9。

统计分析 3 个聚类组的土壤成分及青檀生长指标(表 4)。结果表明，除土壤水溶性 Ca^{2+} 、速效钾外，其它土壤指标在 3 个聚类组均存在显著差异。而青檀生长指标中，只有乔木层植株总数量存在显著差异，其它指标均不存在显著差异。聚类组两两比较结果表明，聚类一组、二组的土壤水溶性 Mg^{2+} 、全氮、有效磷等指标与聚类三组存在显著差异，聚类一组、三组的速效钾与聚类二组存在显著差异，聚类一组的有机质与聚类二组、三组存在显著差异。聚类一组、二组的乔木层植株总数与聚类三组的也存在显著差异。

2.4 土壤成分与青檀生长指标的相关性分析

相关性分析(表 5)表明，土壤水溶性 Ca^{2+} 与各生长指标之间没有显著的相关关系。与其它指标相比，钙元素在青檀天然群落土壤成分中含量较高，说明青檀喜生长于钙质丰富的土壤中，土壤富含钙元素是青檀生长的基本要求。

土壤水溶性 Mg^{2+} 与青檀乔木和灌木的萌生植株数量呈显著正相关，说明在一定范围内，土壤中水溶性 Mg^{2+} 质量分数越高，青檀芽的萌发数量越多。水溶性 Mg^{2+} 与乔木高度呈显著负相关，即一定范围内，土壤水溶性 Mg^{2+} 质量分数越高，青檀植株高度越低矮。水溶性 Mg^{2+} 与其它生长指标之间无显著相

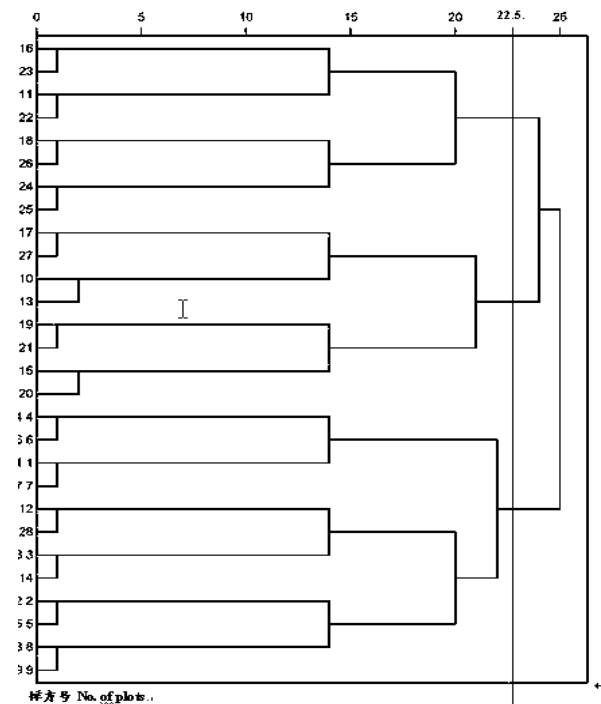


图 1 青檀群落聚类图

Fig.1 Dendrogram of *Pteroceltis tatarinowii* communities according to soil composition

关关系。

土壤全氮与乔木种的平均高度和平均胸径之间呈极显著正相关，在一定范围内，土壤全氮质量分数越高，青檀植株茎的高生长和横向生长越快，这种作用在乔木上表现明显。土壤全氮与青檀乔木和灌木的单生植株数量呈显著负相关，单生植株是由种子萌发产生的，说明全氮质量分数越高，由种子萌发产生的个体数量越少。这个结果与氮素对植物的作用相符，氮素能促进植株的营养生长^[19]，营养生长旺盛，植株不断长高、增粗；不过当氮素含量超过一定水平时，会阻碍花芽的形成，延迟开花，降低结实，因此单生植株数量减少。全氮与其它生

表 4 3 个聚类组的土壤成分及青檀生长指标统计分析

Table 4 Statistical analysis of soil and growth indices of three clustering groups

指标	聚类一组	聚类二组	聚类三组	F值	P值
w(水溶性 Ca^{2+})/(g·kg ⁻¹)	3.636±0.102 a	3.520±0.149 a	3.625±0.120 a	0.231	0.795
w(水溶性 Mg^{2+})/(g·kg ⁻¹)	0.1560±0.005a	0.161±0.009a	0.199±0.009b	9.098	0.001
w(全氮)/(g·kg ⁻¹)	4.750±0.392 a	5.323±0.358 a	3.583±0.290 b	7.360	0.003
w(有效磷)/(mg·kg ⁻¹)	4.052±0.250 a	4.087±0.350 a	2.858±0.216 b	7.632	0.003
w(速效钾)/(mg·kg ⁻¹)	113.252±7.234 a	155.748±19.414 b	131.755±11.146 a	2.249	0.126
w(有机质)/%	4.540±0.661 a	2.918±0.765 b	2.715±0.297 b	3.200	0.058
乔木单株数量/株	7.130±1.329 a	8.250±1.333 a	10.917±1.588 a	1.801	0.186
乔木丛生数量/株	3.250±0.750 a	5.250±1.509 a	8.250±1.989 a	2.307	0.120
乔木植株总数/株	10.380±1.711 a	13.500±2.291 a	19.167±2.593 b	3.692	0.039
灌木单株数量/株	9.500±5.349 a	1.000±0.267 a	3.833±1.926 a	1.806	0.185
灌木丛生数量/株	0.880±0.350 a	0.500±0.267 a	1.417±0.434 a	1.470	0.249
灌木总数量/株	10.380±5.237 a	1.500±0.267 a	5.167±1.821 a	2.017	0.154

±后面的数据均表示标准误

表5 青檀群落土壤成分与青檀生长指标之间的相关性分析
Table 5 Correlation analysis of soil composition and growth indices of *Pteroceltis tatarinowii*

土壤成分	相关分析	乔木					灌木				
		单生植株/ 株	丛生植株/ 株	总株数/ /株	平均高度/ /m	平均胸径/ /cm	单生植株/ /株	丛生植株/ /株	总株数/ 株	平均高度/ /m	平均冠幅/ /m ²
水溶性 Ca ²⁺	相关系数	0.160	-0.150	0.060	-0.078	0.007	0.099	0.040	0.112	0.018	0.249
	概率	0.209	0.224	0.382	0.347	0.487	0.308	0.421	0.285	0.464	0.101
	相关关系	无相关	无相关	无相关	无相关	无相关	无相关	无相关	无相关	无相关	无相关
水溶性 Mg ²⁺	相关系数	0.236	0.380	0.316	-0.368	-0.282	-0.193	0.378	-0.150	-0.191	0.223
	概率	0.113	0.023*	0.051	0.027*	0.073	0.162	0.024*	0.222	0.165	0.128
	相关关系	无相关	显著正相关	无相关	显著负相关	无相关	无相关	显著正相关	无相关	无相关	无相关
全氮	相关系数	-0.326	-0.075	-0.254	0.492	0.486	-0.326	-0.075	-0.254	0.305	0.151
	概率	0.045*	0.351	0.096	0.004**	0.004**	0.045*	0.351	0.096	0.058	0.221
	相关关系	显著负相关	无相关	无相关	极显著正相关	极显著正相关	显著负相关	无相关	无相关	无相关	无相关
有效磷	相关系数	-0.297	-0.094	-0.272	0.438	0.369	-0.073	0.040	-0.061	0.214	0.074
	概率	0.062	0.318	0.081	0.010**	0.027*	0.355	0.420	0.379	0.137	0.355
	相关关系	无相关	无相关	无相关	极显著正相关	显著正相关	无相关	无相关	无相关	无相关	无相关
速效钾	相关系数	0.257	0.319	0.409	-0.166	-0.190	-0.149	0.210	-0.120	-0.069	-0.064
	概率	0.093	0.049*	0.015*	0.200	0.167	0.224	0.142	0.272	0.364	0.374
	相关关系	无相关	显著正相关	显著正相关	无相关	无相关	无相关	无相关	无相关	无相关	无相关
有机质	相关系数	-0.074	-0.068	-0.057	-0.034	-0.080	0.034	0.082	0.050	0.304	0.379
	概率	0.354	0.366	0.387	0.431	0.343	0.432	0.339	0.401	0.058	0.023*
	相关关系	无相关	无相关	无相关	无相关	无相关	无相关	无相关	无相关	无相关	显著正相关

长指标之间无显著相关性。

土壤有效磷与青檀乔木种的高度呈极显著正相关,与乔木种的胸径呈显著正相关。说明有效磷与全氮指标作用相似,可促进青檀乔木个体的高生长和横向生长。磷使茎发育坚韧,不易倒伏,能促进根系生长^[19],长期作用的效果形成高大植株,因此与群落乔木生长的相关性更大。有效磷与其它生长指标之间无显著相关关系。

土壤速效钾与乔木丛生植株数量及总株数呈显著正相关。钾可促进植株的抗寒性、抗病性,增强茎的坚韧性^[19],这些作用对萌生苗的生长极为有利,植株的抗性增加,成活率提高,个体总数量也相应提高,因此土壤速效钾质量分数越高,青檀乔木丛生植株数量及总株数将增加。青檀其它生长指标与土壤速效钾无显著相关性。

土壤有机质与青檀灌木冠幅呈显著正相关,与青檀其它生长指标均无显著相关性。表明有机质可促进幼树的枝叶生长,因而与青檀灌木冠幅呈正相关关系。

3 结论与讨论

经研究可以得出如下结论:

(1) 三潭风景区青檀群落土壤水溶性 Ca²⁺平均质量分数为 3.598 g·kg⁻¹, Mg²⁺平均质量分数为 0.176 g·kg⁻¹, 速效钾、全氮、有效磷的平均质量分数分别是 133.324 mg·kg⁻¹、4.413 g·kg⁻¹ 和 3.569 mg·kg⁻¹, 有机质平均质量分数为 3.295%。

(2) 土壤水溶性 Ca²⁺与青檀高度、胸径等生长指标之间无显著相关性;土壤可溶性 Mg²⁺与乔木、灌木的丛生植株数量呈显著正相关,土壤水溶性 Mg²⁺与乔木高生长呈负相关。

(3) 全氮与青檀乔木平均高度、平均胸径呈极显著正相关,与单生植株数量呈显著负相关;有效磷与乔木平均高度和胸径呈显著正相关;速效钾与乔木丛生植株数量及乔木总数量呈显著正相关;有机质与灌木冠幅呈显著正相关。

(4) 按土壤成分可将青檀群落聚成 3 类,3 个聚类组的土壤水溶性 Mg²⁺、全氮(TN)、速效钾(AK)、有效磷(AP)、有机质以及青檀乔木植株总数量存在着显著差异。

研究结果表明土壤中钙元素比镁、钾元素质量分数高,说明青檀在自然条件下选择含钙丰富的土壤分布,在含钙元素多的土壤中生长良好。有研究表明,作为喜钙树种,在无钙元素的土壤中,青檀苗大部分死亡,且生长不良,其高生长量仅为有钙处理的 50%左右^[20]。而相关分析显示它与研究的青檀指标之间没有明显的相关性,表明钙元素对各样方青檀数量、高度及胸径等指标的影响没有显著差异,即当土壤中钙元素含量能满足植物生长的基本要求后, Ca²⁺对植物的影响主要体现在其它方面,如植物体中 Ca²⁺含量的差异,有研究表明 Ca²⁺可促进根、叶和檀皮中钙的积累^[20-21],檀皮细胞壁上皱纹间积留的 CaCO₃含量影响着檀皮质量,进而影响

宣纸的润墨性及耐久性^[12], 因此土壤中 Ca^{2+} 浓度达到一定水平后, 钙元素对青檀的影响主要集中于对檀皮质量的影响, 而对青檀植株的表型生长指标影响不大。

相关分析显示土壤水溶性 Mg^{2+} 与青檀乔木的萌生植株数量和灌木的萌生数量呈显著正相关, 与乔木高生长呈负相关, 即一定范围内, 高浓度的土壤可溶性 Mg^{2+} 可能促进青檀芽的萌发, 抑制节间伸长。从表 2 和表 3 可知, 土壤水溶性 Mg^{2+} 浓度在 $0.191\sim 0.221 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间, 样方中乔木和灌木的萌生植株数量较多。目前已知镁元素对植物的作用主要体现在上可促进植物的光合作用^[19], 镁元素是否具有促进芽的萌发、抑制节间生长的作用还有待进一步证实, 毕竟芽的萌发和生长除土壤因素外, 还受温度、水分以及群落间生物因子等诸多因素的影响。

与野生青檀乔木胸径和高度存在显著正相关的土壤因子有全氮、有效磷, 氮元素促进植物的营养生长, 对青檀植株的高度、粗度具有促进作用; 磷是促进植物成熟的营养元素, 研究表明其与单株数量等无相关关系, 这可能与土壤中磷质量分数相对较低有关。

速效钾显著影响到青檀乔木的萌生数量及总株数, 与水溶性 Mg^{2+} 一样, 速效钾也可能会促进芽的萌发和生长。如果青檀野生种群种子繁殖存在困难, 或许可通过调整土壤中的钾、镁元素含量来促进无性繁殖, 从而在一定程度上促进种群的更新。

土壤中全氮、速效钾、有效磷质量分数无一影响到青檀灌木的数量、高度、冠幅, 可能的原因是: 青檀灌木的生长量有限, 各土壤元素的影响效应还需一段时间才能体现。

3 个聚类组中, 土壤水溶性 Ca^{2+} 质量分数没有显著差异, 可能与三潭风景区的土壤发育母质相同有关, 风景区土壤均属石灰岩土壤, 钙元素质量分数高, 差异小。土壤水溶性 Mg^{2+} 、全 N、有效 P 等指标差异显著, 这些土壤营养元素可能对青檀乔木的分布密度存在影响, 在 3 个聚类组中青檀乔木数量存在着差异。这个研究结果对野外育苗具有一定的指导作用, 可调整土壤中的相关营养元素, 从而达到调整植株密度的目的。

参考文献:

[1] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志(第 22 卷)[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 380.
Chinese Flora Editorial Committee, Chinese Academy of Sciences. Flora of China (Volume 22) [M]. Beijing: Science Press, 1998: 380

[2] 傅立国, 陈潭清. 中国高等植物(第四卷)[M]. 青岛: 青岛出版社, 2003.

FU Ligu, CHEN Tanqing. China Higher Plant (Volume 4)[J]. Qingdao: Qingdao Press, 2003

[3] 许冬芳, 崔同林. 青檀的开发利用[J]. 中国林副特产, 2005, 6(3): 64.
XU Tongfang, CUI Tonglin. Exploitation and Utilization of *Pteroceltis tatarinowii* [J]. Forest By-Product and Speciality in China, 2005, 6(3): 64.

[4] 洪香香, 方升佐, 杜艳. 青檀种子休眠机理及萌发条件的探讨[J]. 植物资源与环境学报, 2002, 11(1): 9-13.
FU Xiangxiang, FANG Shengzuo, DU Yan. A study on mechanism of dormancy and germination condition of *Pteroceltis tatarinowii* Maxim. Seeds[J]. Journal of Plant Resources and Environment, 2002, 11(1): 9-13.

[5] 方升佐, 朱梅, 唐罗忠, 等. 不同种源种子的营养成分及种子活力的差异[J]. 植物资源与环境学报, 1998, 7(2): 16-21.
FANG Shengzuo, ZHU Mei, TANG Luozhong, et al. A preliminary study on seed nutrient ingredient contents and seed vigour for various provinces of *Pteroceltis tatarinowii* Maxim[J]. Journal of Plant Resources and Environment, 1998, 7(2): 16-21.

[6] FANG Shengzuo, Song Liyi, Fu Xiangxiang. Effects of NaCl stress on seed germination, leaf gas exchange and seedling growth of *Pteroceltis tatarinowii*[J]. Journal of Forestry Research, 2006, 17(3): 185-188.

[7] 洪香香, 方升佐, 汪红卫, 等. 青檀一年生播种苗的年生长期规律[J]. 南京林业大学学报, 2001, 25(6): 11-15.
FU Xiangxiang, FANG Shengzuo, WANG Hongwei, et al. Studies on Annual Growth Dynamics of One-year Seedlings of *Pteroceltis tatarinowii*[J]. Journal of Nanjing Forestry University, 2001, 25(6): 11-15.

[8] 张兴旺, 张小平, 杨开军, 等. 珍稀植物青檀叶的解剖结构及其生态适应性特征[J]. 植物研究, 2007, 27(1): 38-42.
ZHANG Xingwang, ZHANG Xiaoping, YANG Kaijun, et al. Study on anatomical structure of leaf and ecological adaptability of *Pteroceltis tatarinowii* Maxim[J]. Bulletin of Botanical Research, 2007, 27(1): 38-42.

[9] 李光友, 方升佐, 吕家驹, 等. 立地条件对青檀人工林生物生产力及檀皮产量的影响[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2001, 25(4): 49-53.
LI Guangyou, FANG Shengzuo, LV Jiaju, et al. The effects of site conditions on above-ground biomass production and bark yield of *Pteroceltis tatarinowii* plantations[J]. Journal of Nanjing Forestry University: Natural Sciences Edition, 2001, 25(4): 49-53.

[10] 方升佐, 李光友, 洪香香. 立地条件对青檀檀皮中矿质元素含量的影响[J]. 林业科学, 2002, 38(1): 8-14.
FANG Shengzuo, LI Guangyou, FU Xiangxiang. Effects of site conditions on mineral element contents in the bark of wingeceltis (*Pteroceltis tatarinowii*) [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2002, 38(1): 8-14.

[11] 方升佐, 李光友, 李同顺, 等. 经营措施对青檀人工林生物量及檀皮产量的影响[J]. 植物资源与环境学报, 2001, 25(1): 21-25.
FANG Shengzuo, LI Guangyou, LI Tongshun, et al. The effects of management practice on above-ground biomass production and phloem production of *Pteroceltis tatarinowii* Maxim. Plantations [J]. Journal of Plant Resources and Environment, 2001, 25(1): 21-25.

[12] 方升佐, 崔同林, 虞木奎. 成土母岩和条龄对青檀檀皮质量的影响[J]. 北京林业大学学报, 2007, 29(2): 122-127.
FANG Shengzuo, CUI Tonglin, YU Mukui. Effects of soil-forming

- rocks and sprout ages on the bark quality of *Pteroceltis tatarinowii*[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2007, 29(2): 122-127.
- [13] FANG Shengzuo, LI Guangyou, FU Xiangxiang. Biomass production and bark yield in the plantations of *Pteroceltis tatarinowii*[J]. Biomass & Bioenergy, 2004, 26(4): 319-328
- [14] 王文静, 何雅蕾. 宝天曼自然保护区青檀林结构特征与物种多样性研究[J]. 河南农业大学学报, 2001, 35(1): 364-367.
WANG Wenjing, HE Yaqiang. Studies on the structural feature and species diversity of *Pteroceltis tatarinowii* forest in Baotianman national nature reserve[J]. Journal of Henan Agricultural University, 2001, 35(1): 364-367.
- [15] 覃文更, 韦国富, 谭卫宁. 广西木论自然保护区青檀群落特征及其多样性研究[J]. 广西林业科学, 2004, 33(3): 126.
QIN Wengeng, WEI Guofu, TAN Weining. Research on *Pteroceltis tatarinowii* Community Features and Its Diversity in Mulun Nature Reserve[J]. Guangxi Forestry Science, 2004, 33(3): 126.
- [16] CHAI X Y, CHEN S L, XU W. Using inter-simple sequence repeat markers to analyze the genetic structure of natural *Pteroceltis tatarinowii* populations and implications for species conservation[J]. Plant Systematics and Evolution, 2010, 285: 65-73.
- [17] 时宝茹, 张辉勇. 大贵寺国家森林公园青檀资源保护与对策[J]. 湖北林业科技, 2006, (4): 54-56
SHI Baoru, ZHANG Huiyong. Resource protection and countermeasure for *Pteroceltis Tatarinowii* in Daguisi State Forest Park[J]. Hubei Forestry Science and Technology, 2006, (4): 54-56.
- [18] 史瑞和. 土壤农化分析[M]. 2版. 北京: 农业出版社, 1996.
SHI Ruihe. Agricultural Soil Analysis[M] 2th ed.. Beijing: Agriculture Press, 1996.
- [19] 刘燕. 园林花卉学[M]. 2版. 北京: 中国林业出版社, 2009.
LIU Yan. Landscape Horticulture[M]. Beijing: China Forestry Press, 2009.
- [20] 洪香香, 方升佐, 田野, 等. 钙离子浓度对青檀生长和檀皮质量的影响[J]. 应用生态学报, 2004, 15(9): 1502-1506.
FU Xiangxiang, FANG Shengzuo, TIAN Ye, et al. Effect of Ca^{2+} concentration in the growth and bark quality of *Pteroceltis tatarinowii*[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(9): 1502-1506.
- [21] FANG Shengzuo, HOU Changying, FU Xiangxiang. Effects of Ca^{2+} concentrations on accumulations of mineral elements in the components of *Pteroceltis tatarinowii*[J]. Journal of Forestry Research, 2003, 14(1): 46-50.

The soil composition of *Pteroceltis tatarinowii* natural community and its effect on the growth of plant

WANG Dianpei, LI Jianhua, CHEN Yulan, LIU Renyang

School of Life Science and Technology, Xiaogan University, Xiaogan 432000, China

Abstract: The main soil elements of *Pteroceltis tatarinowii* natural community in Santan scenic area of Hubei Province were measured, and the correlations between the soil composition and the growth indices of *P. tatarinowii* were tested. This study would guide the protection and utilization of wild *P. tatarinowii*. The results showed that the average concentration of water-soluble Ca^{2+} , Mg^{2+} were 3.598 g/kg and 0.176 g/kg, respectively; the average concentration of available potassium(K), total nitrogen (N), available phosphorate (P) were 133.324 mg/kg, 4.413 g/kg and 3.569 mg/kg, respectively; and that of organic matter was 3.295%. No significant correlation between water-soluble Ca^{2+} and the growth indices was observed. However, the highly positive significant correlations between water-soluble Mg^{2+} and the number of tree tillers and shrub tillers existed when the concentration of water-soluble Mg^{2+} was from 0.191 g/kg to 0.221 g/kg. The data suggested highly positive significant correlation between total N and average height, diameter at breast height (DBH) of trees, while negative significant correlation between total N and the number of single trees. The data also suggested other positive significant correlations between: available P and average height, DBH of trees; available K and the number of tree tillers, the total number of trees; and organic matter and crown width of shrubs. According to the soil composition, the community could be clustered into three groups which had significant difference in water-soluble Mg^{2+} , total N, available K, available P and organic matter. Moreover, there was significant difference in the total number of trees of three groups.

Key words: *Pteroceltis tatarinowii*; natural community; soil composition; correlation analysis