

上海松柏古树生长与土壤肥力因子的关系

汤珧华^{1,2}, 潘建萍^{1,2}, 邹福生^{1,2}, 乐笑玮^{1,2}, 傅徽楠^{1,2}, 周圣贤^{3,4}

(1 上海市绿化管理指导站, 上海 200020; 2 上海城市树木生态应用工程技术研究中心, 上海 200020;

3 同济大学, 上海 200090; 4 上海崇明区绿化管理所, 上海 202150)

摘要:【目的】松柏古树是上海古树的重要组成部分。土壤肥力状况影响松柏古树的生长, 研究不同生长点的土壤性质, 并分析其对松柏古树生长的影响, 为松柏古树的土壤管理提供理论依据。【方法】以上海地区不同生长点的松柏古树为试验对象, 测定了土壤的理化性质(土壤容重、通气孔隙度、pH 值、EC 值)和养分(有机质、水解氮、有效磷、速效钾及钙、镁、铁、锌), 对土壤肥力进行了评价, 并进一步分析了土壤对松柏古树生长的影响。【结果】上海松柏古树的土壤 pH 值为中性偏碱性, 可溶性盐分整体较适中, 有机质、水解氮的供应水平较高, 速效钾供应充足, 有效磷供应水平偏低, 土壤中的钙、镁、铁、锌含量较为丰富, 不存在中毒现象。松柏古树的生长受根系的菌根侵染率影响, 与根系的菌根侵染率呈显著正相关, 侵染率越高, 生长越好; 松柏古树的生长与土壤的理化性质有关, 与土壤通气孔隙度呈显著正相关、与容重呈显著负相关, 通气孔隙度越大, 容重越小, 生长越好。【结论】目前上海松柏古树的土壤容重偏大, 通气孔隙度小, 存在通气不良现象。在实际保护松柏古树过程中, 宜采取提高菌根侵染率、提高土壤孔隙度、提供充足的有机质和降低土壤容重等措施。

关键词: 松柏古树; 土壤肥力因子; 菌根侵染率

Relationship between soil fertility factors and growth of old pines and cypress in Shanghai

TANG Yao-hua^{1,2}, PAN Jian-ping^{1,2}, ZOU Fu-sheng^{1,2}, LE Xiao-wei^{1,2}, FU Hui-nan^{1,2}, Zhou Sheng-xian^{3,4}

(1 Shanghai Garden Administration & Direction Station, Shanghai 200020, China;

2 Shanghai Urban Trees Ecological Application Engineering Technology Research Center, Shanghai 200020, China;

3 Tongji University, Shanghai 200090, China; 4 Chongming District Greening Management Office, Shanghai 202150, China)

Abstract: 【Objectives】 Old pine and old cypress trees are important parts of old trees in Shanghai. Soil fertility conditions affect growth of old pine and old cypress trees. This paper studied soil characteristics in fields of old pine and old cypress trees, and analyzed the effects on the growth for providing a theoretical basis of soil management of the old trees. 【Methods】 Soil physical, chemical properties (soil bulk density, porosity, pH and EC) and soil nutrient contents (include soil organic matter, alkali hydrolysable N and available P, K, Ca, Mg, Fe and Zn) were determined. The relationship between the growth of old pine and old cypress trees and soil fertility was evaluated. 【Results】 The soil pH was from neutrality to alkali, the contents of soil soluble salt were at a suitable level, the contents of soil organic matter were higher, the supply of available N was higher, the supply of available K was sufficient and the supply of available P was lower, and the contents of calcium, magnesium, iron and zinc in the soils were stable. The growth of the pine and cypress trees was influenced by the root mycorrhizal infection rate. The growth of the pine and cypress trees was also related to soil physical and chemical properties, and was positively correlated with the soil porosity. 【Conclusions】 There were higher values in the soil bulk density and lower in soil aeration porosity, and the soil air permeability was weak. We proposed to improve the mycorrhizal infection rate and soil aeration porosity, provide sufficient organic matter and reduce soil bulk density

收稿日期: 2017-01-11 接受日期: 2017-05-12

基金项目: 上海市绿化和市容管理局攻关项目(G140501); 上海科学技术委员会(17DZ2252000)资助。

作者简介: 汤珧华(1970—), 女, 江西永新人, 硕士, 高级工程师, 主要从事古树的保护、复壮等研究工作。E-mail: 2073786014@qq.com

in the process of actual protection of old pine and cypress trees.

Key words: old pine and cypress trees; soil fertility characteristics; mycorrhizal infection rate

古树是指树龄在百年以上的树木, 是上海城市绿化与历史文化的重要组成部分, 更是城市的重要自然资源, 对它的保护是城市绿化建设的重要组成部分, 古树保护的好坏, 对提升城市的历史文化内涵起着至关重要的作用。目前生长在上海的松柏类古树有白皮松、五针松、大王松、黑松、雪松、龙柏、桧柏等 7 个树种 320 株, 占总数的 20% 左右, 但是, 目前生长的松柏古树中, 许多生长不良, 其中还有不少处于濒危临死状态。

土壤是古树生态环境的重要组成部分, 也是古树赖以生存的基本条件之一。由于上海处于建设发展的重要时期, 随着城市改造步伐的日益加快, 上海古树的生长环境尤其是古树生长的土壤受到严重影响和干扰, 古树土壤的物理和化学性质必然也发生相应的变化, 进而导致古树生长受到严重影响^[1-5]。因而, 开展土壤对松柏古树生长的研究, 对进一步保护松柏古树、促进松柏古树健康生长具有重要的意义。

1 材料和方法

1.1 研究材料

上海的松柏古树有五针松、白皮松、大王松、黑松、雪松、龙柏、桧柏等 7 个树种, 各树种古树的数量和分布也不相同, 有的是散生在郊外, 有的是集中分布在一个单位或一座公园里, 上海的地形大部分是平整的, 但也有的分布在山上。2014 年 3 月, 根据上海地区的松柏古树的树种数量、树种的分布情况、生长点地形、周边开发建设情况等因素进行取样, 取样原则为除大王松(因大王松只一株, 且生长不良)外, 各树种均取样; 树种集中分布时, 即使数量较多也只取一个点; 生长在平地上或山上的也均要取样; 若古树周边进行开发建设, 也确定为取样点。因松柏古树的树龄都是 100 年左右, 因而, 不再特意考虑松柏古树的年龄。根据以上取样原则, 确定如下调查和取样点(表 1)。

1.2 样品采集与测定

1.2.1 样品采集 土壤样品的采集方法为在古树冠幅内的东、南、西、北方向挖剖面 3~4 个, 在深度约 40 cm 处采集土壤样品。土壤样品于室内通风阴凉处风干后, 磨细, 过筛后备用。

1.2.2 测定方法 生长量直接量取; 叶绿素测定采用

用分光光度法^[6]; 菌根侵染率采用染色法^[7]; 根系活力采用 TTC 法测定。

土壤 pH 值采用电位法测定; 电导率用 DDS 型电导仪测定; 有机质用重铬酸钾法测定; 水解氮用扩散吸收法测定; 有效磷用碳酸氢钠法测定; 速效钾用火焰光度法测定; 钙、镁、铁、锌采用硝酸-氢氟酸-高氯酸消煮, 原子吸收光度法测定。

1.3 数据分析

相关分析采用 SPSS 软件进行。

2 结果与分析

2.1 古树土壤理化性质分析

2.1.1 土壤容重和土壤孔隙度 容重反映了土壤的疏松状况及人类活动对它的压实作用^[8-11], 土壤孔隙度反映了土壤的通气状况。容重较大的土壤, 土壤紧实, 根系生长困难; 孔隙度过低, 会引起古树根系缺氧和二氧化碳浓度过高, 引发根系中毒的现象。

表 2 表明, 土壤容重在 1.28~1.64 g/cm³ 之间, 平均为 1.42 g/cm³, 仅有西郊宾馆古五针松和嘉定博乐路古雪松 2 个古树生长点达到 ≤ 1.30 g/cm³ 的标准, 土壤孔隙度有 4 个生长点达到 $\geq 50\%$ 的要求, 分别是西郊宾馆的古五针松、嘉定中医医院的古雪松、周公馆的古雪松和嘉定博乐路的古雪松, 这 4 个古树生长点环境近二十年没有变化, 容重最大和通气孔隙度小的生长点为市精神病院两株古雪松, 此处测试前古雪松周边进行了开发建设, 建设时在古雪松上堆了许多客土。因而, 目前松柏古树生长点存在土壤容重总体偏大, 通气孔隙度小的情况, 不利于松柏古树的生长。

2.1.2 土壤 pH 值和 EC 值 土壤 pH 值是土壤化学性质的综合表现, 土壤微生物的活动、有机质的合成与分解、氮磷等营养元素的形态转化与释放等都与土壤的 pH 值有关^[9-14]。EC 值即土壤溶液的导电强度, EC 值过低, 说明土壤中的可溶性养分含量较低, 不能满足古树的正常生长; 过高则说明土壤含盐量过高, 对古树根系吸收水分和养分造成困难。

土壤 pH 值在 5.99~8.51 之间, 平均为 8.08, 整体偏碱, 只有 5 个生长点的土壤 pH 值达到 ≤ 8.0 的上海地方标准, 合格率仅为 19%, pH 值最高的生长点为市精神病院的古雪松。EC 值在 0.08~0.24

表 1 松柏古树生长调查和土壤取样点

Table 1 Location of the sampling sites and species of old pine and old cypress trees

树种 Species	编号 Code	地点 Location	树种 Species	编号 Code	地点 Location
五针松 <i>Pinus parviflora</i>	0557	闵行饭店 Minhang Hotel	桧柏 <i>Sabina chinensis</i>	0567	松江清真寺 Songjiang Mosque
五针松 <i>Pinus parviflora</i>	0560	兴国宾馆 Xingguo Hotel	桧柏 <i>Sabina chinensis</i>	0572	方塔园 Square Tower Garden
五针松 <i>Pinus parviflora</i>	0562	兴国宾馆 Xingguo Hotel	桧柏 <i>Sabina chinensis</i>	0574	崇明金鳌山 Jin Aoshan, Chongming
五针松 <i>Pinus parviflora</i>	0563	西郊宾馆 Xijiao Hotel	桧柏 <i>Sabina chinensis</i>	0581	市五医院 The NO.5 Hospital
白皮松 <i>Pinus bungeana</i>	0527	嘉定宾馆 Jiading Hotel	雪松 <i>Cedrus deodara</i>	0517	周公馆 Zhou Mansion
白皮松 <i>Pinus bungeana</i>	0530	长宁少年宫 Changning Children's Palace	雪松 <i>Cedrus deodara</i>	0521	市精神病院 Shanghai Psychiatric Hospital
白皮松 <i>Pinus bungeana</i>	0531	长宁少年宫 Changning Children's Palace	雪松 <i>Cedrus deodara</i>	0522	市精神病院 Shanghai Psychiatric Hospital
白皮松 <i>Pinus bungeana</i>	0534	吴兴路81号 No. 81, Wuxing Road	雪松 <i>Cedrus deodara</i>	0580	嘉定中医院 Jiading Chinese Medicine Hospital
白皮松 <i>Pinus bungeana</i>	0535	斜土路1224号 No. 1224 Xietu Road	雪松 <i>Cedrus deodara</i>	1587	嘉定博乐路 Jiading Bole Road
白皮松 <i>Pinus bungeana</i>	0541	龙柏饭店 Longbai Hotel	黑松 <i>Pinus thunbergii</i>	0525	松江中心医院 Songjiang Central Hospital
白皮松 <i>Pinus bungeana</i>	0542	龙柏饭店 Longbai Hotel	黑松 <i>Pinus thunbergii</i>	1523	闵行红园 Minhang Hongyuan
白皮松 <i>Pinus bungeana</i>	1595	龙柏饭店 Longbai Hotel	黑松 <i>Pinus thunbergii</i>	12-003	闵行红园 Minhang Hongyuan
桧柏 <i>Sabina chinensis</i>	0500	华东政法 East China Politics and Law	黑松 <i>Pinus thunbergii</i>	12-017	江川路汽轮厂 Steam Turbine Factory

mS/cm 之间, 平均为 0.15 mS/cm, 按 EC 值上海地方标准 0.15~1.2 mS/cm, 有 8 个取样点的 EC 值偏低, 其它点符合上海地方标准, 合格率达 61.5%。

2.1.3 土壤有机质、水解氮、有效磷和速效钾 有机质不但为松柏古树生长提供了各种营养元素, 而且改良了土壤的物理性质和化学性质。测试点有机质含量在 13.6~44.7 g/kg 之间, 平均为 26.88 g/kg, 测试的 26 个古树生长点都符合上海地方标准 12~80 g/kg, 整体属于有机质含量较高的土壤。

氮是构成蛋白质的主要元素之一, 具有促进营养生长的作用; 磷是植物细胞核的重要成分, 对细胞分裂和植物各器官组织的分化发育特别是开花结实具有重要影响; 钾对叶片气孔的调节具有重要作用, 是植物体内生理代谢活动必不可少的一种元素^[10-12]。

目前, 测试点水解氮在 47.3~214.2 mg/kg 之间, 平均为 119.7 mg/kg, 除市精神病院编号 0521 古雪松生长点偏低外, 其余生长点都达到了上海地方

标准中的较高供应水平, 不需补充。有效磷在 2.5~8.6 mg/kg 之间, 除编号 12-003、12-017 两个取样点速效磷含量较高外, 其余均属于偏低水平, 应对其生长点的土壤进行磷的补充。速效钾在 117.1~308.7 mg/kg 之间, 平均为 174.6 mg/kg, 均达到国家土壤质量三级水平 (100~150 mg/kg), 有 6 个生长点达到国家土壤质量一级水平 (≥ 200 mg/kg), 因而, 土壤中的速效钾供应充足, 无需补充。

2.1.4 土壤钙、镁、铁、锌 土壤中的钙、镁、铁、锌等金属元素是植物正常生长发育所必需的营养元素, 它们是组成酶、维生素和生长激素的成分, 直接参与有机体的代谢过程^[13]。植物对金属元素的需要量是很少的, 过多或过少都会影响植物生长, 过多会使植物中毒^[14-15]。

表 3 表明, 钙含量在 102~422 mg/kg 之间, 平均为 158 mg/kg, 镁含量在 55~135 mg/kg 之间, 平均为 106 mg/kg, 铁含量在 21~42 mg/kg 之间, 平均

表 2 松柏古树土壤的理化性质
Table 2 Soil characteristics in fields of the old pine and old cypress trees

树木编号 Tree Code	容重 (g/cm ³) Soil density	孔隙度 (%) Soil porosity	pH	EC (mS/cm)	有机质 (g/kg) OM	水解氮 (mg/kg) Available N	有效磷 (mg/kg) Available P	速效钾 (mg/kg) Available K	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)
0557	1.41	46.64	7.78	0.18	25	189.8	4.3	124.8	315	103	34	2
0560	1.37	48.3	8.16	0.18	33.7	104	5.2	126	340	104	35	2
0562	1.46	45.08	8.15	0.13	23.5	190.8	4.2	154.8	373	112	32	2
0563	1.3	51.09	8.29	0.13	32.5	98.5	4.9	180.2	361	121	35	2
0527	1.48	44.15	8.19	0.15	21.8	95.5	3.2	222.9	201	114	31	1
0530	1.45	45.4	8.17	0.18	33.4	99	2.5	190.3	346	124	39	3
0531	1.47	44.5	8.37	0.16	15.5	122.7	2.9	176	200	127	37	1
0534	1.4	46.89	8.13	0.17	19.1	78.2	4.9	151.7	121	102	34	2
0535	1.38	47.92	8.07	0.24	22.4	83.2	5.1	125.2	175	97	39	3
0541	1.45	45.28	7.2	0.08	26.8	175	6.1	117.1	178	85	29	1
0542	1.49	43.98	8.36	0.1	26.6	127	3.7	168.7	192	118	37	2
1595	1.42	46.42	7.67	0.1	26.8	112.9	5.2	150.8	194	103	34	1
0500	1.4	47.17	8.21	0.12	21	98.2	4.9	133.2	184	121	35	2
0567	1.39	47.55	8.22	0.2	32.2	214.2	3.3	168.6	312	90	31	2
0572	1.45	45.28	8.22	0.15	38.6	89.7	4.5	189.2	422	82	36	3
0574	1.36	48.67	7.95	0.17	44.7	145.5	4.8	128.9	422	55	42	1
0581	1.47	44.68	8.32	0.18	22.7	97.9	3.9	142.7	163	111	26	2
0517	1.31	50.72	8.42	0.13	30.5	106.2	4.2	199.9	196	122	35	3
0522	1.35	49.13	8.51	0.14	16.9	102.4	7.4	176.9	275	135	37	3
0521	1.64	38.26	8.31	0.15	13.6	47.3	5.8	203.8	199	127	34	1
0580	1.32	50.18	8.37	0.16	23.7	109.4	2.7	184.1	102	121	23	3
1587	1.28	51.89	5.99	0.14	25.3	108.7	4	188.4	157	73	31	2
0525	1.4	47.17	8.29	0.12	44.6	143	4.7	308.7	159	91	23	1
1523	1.58	40.42	8.38	0.12	15.4	102	3.8	201	130	99	30	2
12-003	1.38	49.47	8.1	0.14	32.8	150.1	8.6	218.3	176	102	21	2
12-017	1.42	46.42	8.4	0.13	29.8	122	8.2	208.2	132	126	34	2

表 3 松柏古树生长量、叶绿素、侵染率和根系活力

Table 3 Growth, chlorophyll, infection rate and root activity of the old pine and cypress trees

树木编号 Tree code	生长量 Growth (cm)	叶绿素 Chlorophyll (mg/g)	侵染率 Infection (%)	根系活力 Root activity [$\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$]
0557	5.2	0.3	15	143.6
0560	12.7	0.63	38	231.6
0562	4.5	0.04	14	121.4
0563	7.1	0.54	17	160.7
0527	4.4	0.17	0	210.5
0530	7.3	0.21	27	224.8
0531	4.9	0.26	15	213.6
0534	5.9	0.25	8	209
0535	6.1	0.27	10	224.5
0541	6.3	0.23	16	251.8
0542	4.3	0.61	14	206.6
1595	6.5	0.6	16	262.4
0500	4.1	0.63	12	267.2
0567	6.0	0.83	26	379.9
0572	4.2	1.18	14	258
0574	6.8	1.38	26	391.7
0581	4.4	0.66	14	263.8
0517	6.3	0.52	26	121.4
0522	1.0	0.4	0	39.3
0521	2.4	0.47	0	58.4
0580	15.0	0.63	35	175.2
1587	12.8	0.62	32.8	167.3
0525	4.0	0.6	24	102.1
1523	6.0	0.82	26	120.4
12-003	3.6	0.67	15	97.3
12-017	3.2	0.64	12	93.1

为 33 mg/kg, 锌含量在 1~3 mg/kg 之间, 平均为 2 mg/kg, 钙、镁、铁、锌四种养分含量较为丰富, 在正常范围之内, 虽然土壤中有效铁含量较高, 但古树仍然容易缺铁, 是因为土壤高 pH 值降低了铁的活性所致。

2.2 松柏古树的生长指标分析

生长量是指枝条一年中生长的长度, 枝条的年生长量越多, 生长越快; 叶绿素是植物进行光合作用的主要色素, 叶绿素含量反映了叶片光合性能强

弱^[6]。菌根侵染率是指在测试根系中侵染真菌的根占总根的比率。菌根侵染率越高, 宿主植物的吸收面积越大, 越有利于宿主植物生长^[7]。根系活力表现了根系的吸收能力, 根系活力越大, 表明其吸收能力越强。

表 3 表明, 不同的树种, 在生长量、叶绿素、侵染率和根系活力方面表现不同, 即使同一树种, 不同编号的古树表现也不相同。在生长量方面, 五针松古树在 4.5~12.7 cm 之间, 平均为 7.4 cm; 白皮松古树在 4.3~7.3 cm 之间, 平均为 5.7 cm; 桧柏古树在 4.1~6.8 cm 之间, 平均为 5.1 cm; 雪松古树在 1.0~15.0 之间, 平均为 7.5 cm; 黑松古树在 3.2~6.0 cm 之间, 平均为 4.2 cm, 从生长量来看, 雪松 > 五针松 > 白皮松 > 桧柏 > 黑松; 在叶绿素方面, 五针松在 0.30~0.63 mg/g 之间, 平均为 0.38 mg/g, 白皮松古树在 0.17~0.27 mg/g 之间, 平均为 0.33 mg/g; 桧柏古树在 0.63~1.38 mg/g 之间, 平均为 0.94 mg/g; 雪松古树在 0.40~0.63 mg/g 之间, 平均为 0.58 mg/g; 黑松古树在 0.60~0.82 mg/g 之间, 平均为 0.68 mg/g, 从叶绿素看, 桧柏 > 黑松 > 雪松 > 五针松 > 白皮松。在侵染率方面, 五针松在 15%~38% 之间, 平均为 21%, 白皮松古树在 0~27% 之间, 平均为 13.3%; 桧柏古树在 12%~26% 之间, 平均为 18.4%; 雪松古树在 0~35% 之间, 平均为 17.4%; 黑松古树在 12%~26% 之间, 平均为 19.3%, 从侵染率看, 五针松 > 黑松 > 桧柏 > 雪松 > 白皮松。在根系活力方面, 五针松在 143.6~231.6 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$ 之间, 平均为 164.3 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$; 白皮松古树在 206.6~224.8 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$ 之间, 平均为 225.4 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$; 桧柏古树在 258.0~379.9 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$ 之间, 平均为 312.1 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$; 雪松古树在 39.3~175.2 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$ 之间, 平均为 112.3 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$; 黑松古树在 93.1~120.4 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$ 之间, 平均为 112.3 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$, 从根系活力来看, 桧柏最强, 其次白皮松, 依次为五针松、雪松和黑松。

2.3 土壤理化性状对松柏古树的影响

编号 0521 和编号 0522 的雪松古树生长非常差, 原因是前几年在古雪松边进行了开发建设, 在古树边进行过堆土、开挖等破坏性行为, 破坏了土壤原有的结构与性质。由于土壤的结构、性质、养分等肥力状况直接影响着松柏古树的生长, 为了进一步了解它们对松柏古树生长产生的影响程度, 进行了相关分析。

表 4 表明, 松柏古树生长量除受根系侵染率和根系活力影响外, 与土壤各因素有关, 尤其与土壤孔隙度和容重关系密切, 与土壤孔隙度为显著正相关, 与土壤容重呈负相关且达极显著水平。松柏古树的生长, 受菌根侵染的影响很大, 两者呈极显著正相关, 这与松柏古树为菌根树种习性相符; 松柏古树的生长, 与根系活力呈显著相关说明根系活力强, 其生长量也大。松柏古树的生长, 更容易受土壤容重和通气状况等土壤结构的影响, 受土壤有效

养分如氮、磷、钾的影响较小, 这也与松柏树耐贫瘠的习性相符。松柏古树的生长量、根系侵染率等与土壤中钙、镁、铁、锌含量相关不明显, 根系活力与土壤铁含量呈显著正相关。

松柏古树的根系侵染率和根系活力与土壤各因素有关, 尤其与土壤容重、孔隙度和有机质的相关显著。说明通气性强、有机质含量高的土壤有利于菌根的生长, 也有利于松柏古树的生长。

表 4 松柏古树生长性状与土壤理化性质之间的相关系数

Table 4 Correlation coefficients between the growth indexes of the old pine and cypress trees and the soil characteristics

指标 Index	生长量 Biomass	叶绿素 Chlorophyll	侵染率 Infection rate	根系活力 Root activity	容重 Density	孔隙度 Porosity	pH	EC
生长量 Biomass	1	-0.076	0.712**	0.362*	-0.467**	0.429*	-0.327	0.205
叶绿素 Chlorophyll		1	0.326	-0.265	-0.215	0.233	0.175	0.054
侵染率 Infection rate			1	0.256	-0.416*	0.424*	-0.134	0.023
根系活力 Root activity				1	-0.132	0.099	-0.294	-0.139

指标 Index	有机质 OM	水解氮 Available N	有效磷 Available P	速效钾 Available K	Ca	Mg	Fe	Zn
生长量 Biomass	0.194	0.046	-0.32	-0.385*	-0.212	-0.215	0.147	0.176
叶绿素 Chlorophyll	0.376*	0.111	0.043	0.083	0.061	-0.360*	-0.156	0.103
侵染率 Infection rate	0.549**	0.402*	-0.388	-0.03	-0.291	-0.307	-0.126	0.088
根系活力 Root activity	0.09	0.024	0.048	-0.522*	0.279	0.410*	0.529**	0.267

注 (Note): *— $P < 0.05$, **— $P < 0.01$, $n=26$ 。

3 结论

目前上海松柏古树生长地存在土壤 pH 值较高、整体偏碱、土壤容重偏大、通气孔隙度小、通气不良现象。土壤中的可溶性盐分含量整体较适宜, 有机质含量整体较高, 水解氮的供应水平较高, 有效磷的含量处于偏低水平, 除编号 0527、0567 两个样点外, 其余生长点的土壤可适当进行磷的补充。土壤中的速效钾供应充足, 无需补充。土壤中的钙、镁、铁、锌含量稳定, 不存在污染情况。

土壤各因子都会影响松柏古树生长, 尤其以土壤容重和孔隙度对松柏古树生长影响较大。若土壤通气孔隙度较高, 容重小, 则松柏古树生长量较多, 菌根侵染率也较多, 根系活力强, 有利于松柏古树生长。根据松柏古树生长与土壤性质关系, 在实际保护工作中, 应注意土壤各因素对松柏古树产生的影响, 在一定范围内, 降低土壤中 pH 值, 使土壤具有较高的通气孔隙度和较小的容重, 特别要避

免开发建设对古树的破坏, 保持古树原有生态环境。

参 考 文 献:

- [1] 聂雅萍, 刘敬, 杨增星. 昆明黑龙潭公园古梅现状及应用[J]. 北京林业大学学报, 2010, 32(Suppl.): 227-230.
Nie Y P, Liu J, Yang Z X. Present situation and application of ancient plum in Kunming Longtan Park[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2010, 32(Suppl.): 227-230.
- [2] 尤扬, 张晓云. 卫辉市区古树名木现状调查及保护探讨[J]. 河南科技学报, 2012, 40(5): 13-18.
You Y, Zhang X Y. Investigation and protection of ancient and famous trees in Weihui City[J]. Journal of Henan Science and Technology, 2012, 40(5): 13-18.
- [3] 李锦龄. 北京松柏类古树濒危原因及复壮技术的研究[J]. 北京园林, 2001, (1): 24-31.
Li J L. Study on the endangered causes and rejuvenation techniques of pine and cyprus in Beijing[J]. Beijing Garden, 2001, (1): 24-31.
- [4] 张树民. 古树名木衰弱诊断及抢救技术[J]. 中国城市林业, 2012, (5): 44-47.
Zhang S M. Diagnosis and rescue technology of old and famous trees[J]. China Urban Forestry, 2012, (5): 44-47.

- [5] 苏纯兰, 陈葵仙, 胡秋艳, 等. 基于层次分析法构建东莞市古树名木健康评价体系[J]. 林业与环境科学, 2016, 32(2): 57–62.
Su C L, Chen K X, Hu Q Y, *et al.* Constructing the health evaluation system of ancient and famous trees in Dongguan City based on analytic hierarchy process[J]. *Forestry and Environmental Science*, 2016, 32(2): 57–62.
- [6] 潘瑞焜. 植物生理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2008.
Pan R C. *Plant physiology* [M]. Beijing: Higher Education Press, 2008.
- [7] 弓明钦, 陈应龙. 菌根研究及应用[M]. 北京: 中国林业出版社, 1997.
Gong M Q, Chen Y L. *Research and application of mycorrhiza* [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1997.
- [8] Craul P J. The nature of urban soil: their problem and future[J]. *Arboricultural Journal*, 1994, 18(3): 275–287.
- [9] Jim C Y. Soil compaction as a constraint to tree growth in tropical & subtropical urban habitats[J]. *Environmental Conservation*, 1993, 20(1): 35–49.
- [10] Jim C Y. Massive tree-planting failures due to multiple soil problems[J]. *Arboricultural Journal*, 1993, 17(3): 309–331.
- [11] 侯传庆. 上海土壤[M]. 上海: 上海科技出版社, 1992.
Hou C Q. *Shanghai soil* [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1992.
- [12] 孙向阳. 土壤学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2005.
Sun X Y. *Soil science* [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2005.
- [13] 王天鹅, 林谨, 王维奇, 等. 闽江河口湿地植物与土壤灰分及其影响因素分析[J]. 生态科学, 2010, 29(3): 268–273.
Wang T E, Lin J, Wang W Q, *et al.* Analysis of soil ash content and its influencing factors in Minjiang Estuary wetland[J]. *Ecological Science*, 2010, 29(3): 268–273.
- [14] 王伟东, 王渭玲, 徐福利, 等. 秦岭西部中幼龄华北落叶松林地土壤养分与酶活性特征研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(4): 1032–1039.
Wang W D, Wang W L, Xu F L, *et al.* Characteristics of soil nutrients and enzyme activities in young and middle aged *Larix principis-rupprechtii* plantation in western Qinling Mountains[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2015, 21(4): 1032–1039.
- [15] 刘顺, 吴珍花, 郭晓敏. 不同林龄陈山红心杉土壤微生物群落结构特征[J]. 应用与环境生态学报, 2016, 22(3): 510–517.
Liu S, Wu Z H, Guo X M. Structural characteristics of soil microbial community in Chenshan[J]. *Journal of Applied and Environmental Ecology*, 2016, 22(3): 510–517.