

街道绿化中樟黄化对应土壤影响因子研究

李利敏¹, 于英翠¹, 刘思春¹, 吴良欢²

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 浙江大学 环境与资源学院, 浙江 杭州 310029)

摘要: 叶片黄化是植物对环境的一种适应。樟 *Cinnamomum camphora* 叶片黄化现象, 不仅树木生长不良, 还影响景观的美观度。以张家港市 4 条城市主要街道两旁发生叶片黄化樟的立地土壤为研究材料, 以叶片正常樟的立地土壤为对照, 通过采集 0~20 cm 及 >20~40 cm 土层土样进行 pH、HCO₃⁻、有机质、速效氮、速效磷、速效钾、有效铁、有效锰、有效铜、有效锌等理化性质的测定, 研究黄化樟与土壤因子之间的关系。结果表明, 黄化樟土壤 pH、HCO₃⁻、有效磷和有效铜含量均比正常株的高, 而有机质、速效氮、速效钾、有效铁、有效锰、有效锌比正常株的低; 土壤有效铁与 pH、HCO₃⁻、有效磷、有效铜之间为负相关, 而与有机质、速效氮、速效钾、有效锰、有效锌之间为正相关。为预防和治理樟黄化, 建议施无机铁盐时配合施用有机肥、低磷的复合肥及酸化介质如红壤或酸化剂; 增施如腐殖酸和黄腐酸等土壤改良剂或对土壤有益的生长素如萘乙酸、吲哚丁酸和细胞分裂素如苄氨基腺嘌呤等; 还可引入可改变土壤理化性质的蚯蚓; 改进减少肥料被土壤固定的施肥方式和引入新型肥料品种等。

关键词: 樟; 黄化; 施肥; 土壤; 张家港市

中国分类号: S792.23

文献标识码: A

文章编号: 1001-3776(2019)06-0032-06

Soil Factors on Chlorosis Leaf *Cinnamomum camphora* in Street Greening

LI Li-min¹, YU Ying-cui¹, LIU Si-chun¹, WU Liang-huan²

(1. College of Resources & Environment, Northwest A & F University, Yangling 712100, China;

2. College of Resources and Environmental Science, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China)

Abstract: On September 12, 2018, soil samples of 0 - 20 cm and >20 - 40 cm were collected under normal and chlorosis leaf *Cinnamomum camphora* from 4 streets of Zhangjiagang city, Jiangsu province. Determinations were implemented on pH, HCO₃⁻, organic matter, available N, available P, available K, available Fe, available Mn, available Cu and available Zn, and analysis was made on relationship between chlorosis tree and soil factors. The results indicated that soil pH, HCO₃⁻, available P and available Cu of chlorosis trees was higher than that under normal trees, while its organic matter, available N, available K, available Fe, available Mn and available Zn was the opposite. The results also showed that pH, HCO₃⁻, available P and available Cu had negative correlation with available Fe, while organic matter, available N, available K, available Mn and available Zn had positive one.

Key words: *Cinnamomum camphora*; chlorosis; fertilizing; soil; Zhangjiagang city

樟 *Cinnamomum camphora*, 树形美观, 能遮阴避凉, 具有阻隔噪音和吸滞粉尘的能力, 所散发出的化学物质和特殊香味有净化有毒空气和驱虫的能力; 其发达的主根有抗风和涵养水源的作用。所以樟是南方许多城市生态建设的首选树种^[1]。但目前樟不适应在南方一些城市环境中生长, 常出现生长不良的现象。如张家港市城

收稿日期: 2019-04-21; 修回日期: 2019-10-08

基金项目: 浙江省重点研发计划项目资助(2015C03011); 国家自然科学基金项目(31572194)

作者简介: 李利敏, 博士, 实验师, 从事植物铁营养及铁肥开发研究; E-mail: iliminamy@163.com。通信作者: 吴良欢, 教授, 从事养分资源管理研究; E-mail: finm@zju.edu.cn。

区道路两旁的樟,近年来已出现大面积黄化,不仅树木生长不良,还影响景观的美观度。

樟的生长状况受温度、光照、降水及根际土壤肥力水平等因子的影响^[2-4]。对樟黄化病的研究不仅有利于樟的健康生长,还有利于提高樟的观赏价值和城市绿化水平,对樟的病害及其防治方面已有研究^[5],但对发生樟黄化病的土壤因子及其之间的关系,并根据影响樟黄化的土壤因子状况提出解决方案的研究不多。因此,本研究以张家港市主要街道两旁发生叶片黄化樟的立地土壤为对象,以叶片正常樟的立地土壤为对照,通过采集 0~20 cm 及>20~40 cm 土层土样进行 pH、 HCO_3^- 、有机质、速效氮、速效磷、速效钾和有效铁、有效锰、有效铜、有效锌等理化性质的测定,对张家港市土壤状况进行分析,研究黄化樟与土壤因子之间的关系,并根据樟立地土壤营养状况提出施肥、施肥技术及管理方面的建议。

1 材料与方法

1.1 土样采集

2018 年 9 月 12 日,在江苏省张家港市南海路、中华路、长江路和华昌路 4 条城市主要街道两旁分别随机选取正常樟和黄化樟各 5 株,树龄为 3 a,树高 3.5~4.0 m,冠幅 1.5~2.0 m,胸径 5~10 cm。在上述樟东南西北四个方向滴水线附近 0~20 cm 及>20~40 cm 土层分别采取土样,将 5 株樟土样混合、风干、过筛待测。

1.2 土样因子理化性质测定

pH 值用 0.01 mol·L⁻¹ CaCl₂ 浸提, pH 计测读(水土比为 2.5:1)^[6];有机质用重铬酸钾氧化外加加热法测定^[6]。 HCO_3^- 按水土比为 5:1 提取,碱度法测定^[7];土壤速效 N: 1 mol·L⁻¹ KCl 浸提,用流动注射分析仪测定 NH_4^+ -N 和 NO_3^- -N 的含量,速效 N 含量用二者之和表示^[8];速效磷用 0.50 mol·L⁻¹ NaHCO₃ 浸提,比色法测定^[6];速效钾用 1 mol·L⁻¹ 醋酸铵浸提,火焰光度法测定^[6];有效铁、有效锰、有效铜、有效锌用 DTPA 浸提, ICP-MS (型号: Agilent 7 500 a) 测定^[6]。所有试剂均为分析纯级。

1.3 数据处理

试验数据用 DPS (Data Processing System) 软件统计分析,类间差异显著性用 Duncan's 新复极差检验法分析。

2 结果与分析

2.1 黄化樟与正常樟的土壤 pH, HCO_3^- 和有机质含量比较

由表 1 表明,不同采样点 pH 值变化较大,在 7.65~8.64。土壤 pH 值均以黄化株较高,且与正常株之间差异显著 ($P<0.05$), 0~20 cm 土层的 pH 值均比>20~40 cm 的高。0~20 cm 土层,正常株除中华路和长江路之间外其余之间均达显著差异水平 ($P<0.05$),黄化株除南海路和华昌路之间外其余之间差异均达显著水平 ($P<0.05$); 4 个采样点以南海路 pH 值最高为 8.25,华昌路其次为 8.11,中华路最低为 8.00。>20~40 cm 土层,正常株除南海路和长江路之间与中华路和华昌路之间外其余差异达显著水平 ($P<0.05$),黄化株仅中华路和长江路之间差异达显著水平 ($P<0.05$); 四个采样点以长江路最高为 8.00,南海路其次为 7.95,中华路最低为 7.81。

表 1 表明,不同采样点 HCO_3^- 变化较大,在 270.25~378.2 g·kg⁻¹, HCO_3^- 含量变化趋势与 pH 值基本一致,与田霄鸿等^[9]提出的供应 HCO_3^- 溶液能明显提高灌水土层的土壤 pH 相一致。 HCO_3^- 含量以黄化株、0~20 cm 土层和南海路较高,黄化株与正常株之间差异均达显著水平, 0~20 cm 土层和>20~40 cm 土层黄化株 4 个采样点之间差异均未达到显著水平; 0~20 cm 和>20~40 cm 土层均以南海路最高分别为 346.63 g·kg⁻¹ 和 335.74 g·kg⁻¹; 长江路其次分别为 335.76 g·kg⁻¹ 和 326.36 g·kg⁻¹; 华昌路最低分别为 327.07 g·kg⁻¹ 和 313.15 g·kg⁻¹。0~20 cm 土层正常株仅南海路与中华路和华昌路之间差异达到显著水平; >20~40 cm 土层正常株仅南海路和华昌路之间差异达显著水平 ($P<0.05$)。

土壤有机质含量高有利于微生物活动,其分解产物有助于消除土壤污染和增加对铁的络合作用,从而提高土壤中铁的活化度和促进作物生长发育^[10]。由表 1 表明,不同采样点土壤有机质含量变化较大,在 5.30~12.98

$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 有机质含量以 0 ~ 20 cm 土层和正常株较高, 正常株与黄化株之间差异均达显著水平 ($P<0.05$)。0 ~ 20 cm 土层正常株和黄化株 4 个采样点之间差异均达显著水平 ($P<0.05$); 4 个采样点有机质含量以华昌路最高为 $12.32\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 长江路次之为 $11.24\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 中华路最低为 $6.47\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。>20 ~ 40 cm 土层正常株除长江路和华昌路之间外其余间差异均达显著水平 ($P<0.05$), 黄化株除华昌路与南海路和长江路之间外其余间差异达显著水平 ($P<0.05$); 4 个采样点以长江路最高为 $8.28\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 华昌路次之为 $7.89\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 中华路最低为 $5.78\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

表 1 土壤 pH, HCO_3^- 和有机质变化规律
Table 1 pH, HCO_3^- and organic matter in sampled soil

地点	叶片	pH		$\text{HCO}_3^-/(\text{g}\cdot\text{kg}^{-1})$		有机质/ $(\text{g}\cdot\text{kg}^{-1})$	
		0 ~ 20 cm	>20 ~ 40 cm	0 ~ 20 cm	>20 ~ 40 cm	0 ~ 20 cm	>20 ~ 40 cm
南海路	正常	$8.07\pm 0.00\text{bc}$	$7.88\pm 0.00\text{d}$	$315.05\pm 3.73\text{b}$	$302.28\pm 0.00\text{b}$	$10.74\pm 0.03\text{c}$	$7.22\pm 0.16\text{b}$
	黄化	$8.42\pm 0.00\text{a}$	$8.02\pm 0.03\text{ab}$	$378.20\pm 0.00\text{a}$	$369.19\pm 3.73\text{a}$	$9.24\pm 0.08\text{d}$	$6.30\pm 0.36\text{c}$
	增减百分比/%	4.34	1.78	20.04	22.14	-13.97	-12.74
中华路	正常	$7.95\pm 0.01\text{d}$	$7.65\pm 0.00\text{e}$	$292.13\pm 3.73\text{c}$	$285.67\pm 0.00\text{bc}$	$6.93\pm 0.11\text{e}$	$6.26\pm 0.01\text{c}$
	黄化	$8.05\pm 0.01\text{c}$	$7.96\pm 0.01\text{bc}$	$372.10\pm 7.04\text{a}$	$359.59\pm 0.00\text{a}$	$6.00\pm 0.06\text{f}$	$5.30\pm 0.06\text{d}$
	增减百分比/%	1.26	4.05	27.37	25.88	-13.42	-15.34
长江路	正常	$7.94\pm 0.01\text{d}$	$7.93\pm 0.00\text{cd}$	$302.13\pm 13.88\text{bc}$	$295.67\pm 5.28\text{bc}$	$12.22\pm 0.05\text{b}$	$9.17\pm 0.31\text{a}$
	黄化	$8.09\pm 0.01\text{b}$	$8.07\pm 0.01\text{a}$	$369.39\pm 0.00\text{a}$	$357.05\pm 0.00\text{a}$	$10.25\pm 0.09\text{c}$	$7.38\pm 0.04\text{b}$
	增减百分比/%	1.89	1.77	22.26	20.76	-16.12	-19.52
华昌路	正常	$7.82\pm 0.00\text{e}$	$7.66\pm 0.00\text{e}$	$284.55\pm 3.73\text{c}$	$270.25\pm 5.28\text{c}$	$12.98\pm 0.13\text{a}$	$8.81\pm 0.07\text{a}$
	黄化	$8.40\pm 0.01\text{a}$	$8.01\pm 0.01\text{ab}$	$369.59\pm 3.52\text{a}$	$356.05\pm 3.73\text{a}$	$11.65\pm 0.26\text{b}$	$6.97\pm 0.06\text{bc}$
	增减百分比/%	7.42	4.57	29.89	31.75	-10.25	-20.89

注: 表中数据为 3 次重复的平均值, 同列不同小写字母表示 $P<0.05$ 水平差异显著, 下同。

2.2 黄化樟与正常樟的土壤速效氮磷钾养分含量比较

由表 2 可以看出, 不同采样点土壤速效氮变化较大, 在 $22.99\sim 45.92\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。以正常株和 0 ~ 20 cm 土层速效氮含量较高, 速效氮含量除 >20 ~ 40 cm 土层中华路外, 其余正常株和黄化株之间差异均达显著水平 ($P<0.05$); 0 ~ 20 cm 土层和 >20 ~ 40 cm 土层正常株除 >20 ~ 40 cm 土层南海路和中华路之间外其余间差异均达到显著水平 ($P<0.05$), 黄化株 4 个采样点之间差异均达到显著水平 ($P<0.05$)。0 ~ 20 cm 土层 4 个采样点以长江路最高为 $40.58\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 南海路其次为 $34.45\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 中华路最低为 $30.17\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。>20 ~ 40 cm 土层 4 个采样点以长江路最高为 $32.93\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 华昌路其次为 $29.79\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 南海路最低为 $24.52\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

表 2 土壤速效氮磷钾变化规律
Table 2 Available N, available P and available K in sampled soil

地点	叶片	速效氮/ $(\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})$		速效磷/ $(\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})$		速效钾/ $(\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})$	
		0 ~ 20 cm	>20 ~ 40 cm	0 ~ 20 cm	>20 ~ 40 cm	0 ~ 20 cm	>20 ~ 40 cm
南海路	正常	$35.19\pm 0.3\text{b}$	$26.04\pm 0.31\text{d}$	$12.50\pm 0.42\text{d}$	$10.50\pm 0.06\text{d}$	$247.93\pm 0.48\text{d}$	$169.84\pm 0.40\text{e}$
	黄化	$33.70\pm 0.0\text{c}$	$22.99\pm 0.31\text{e}$	$15.95\pm 0.12\text{b}$	$15.34\pm 0.03\text{b}$	$109.31\pm 1.39\text{g}$	$114.08\pm 2.01\text{g}$
	增减百分比/%	-4.23	-11.71	27.60	46.10	-55.91	-32.83
中华路	正常	$30.88\pm 0.2\text{e}$	$27.56\pm 0.62\text{cd}$	$17.47\pm 0.43\text{a}$	$15.18\pm 0.04\text{c}$	$177.95\pm 0.82\text{f}$	$147.26\pm 0.81\text{f}$
	黄化	$29.45\pm 0.11\text{f}$	$25.55\pm 0.11\text{d}$	$17.95\pm 0.05\text{a}$	$16.29\pm 0.02\text{a}$	$103.73\pm 0.88\text{g}$	$94.47\pm 0.89\text{h}$
	增减百分比/%	-4.63	-7.29	2.75	7.31	-41.71	-35.85
长江路	正常	$45.92\pm 0.01\text{a}$	$35.24\pm 0.89\text{a}$	$10.77\pm 0.11\text{e}$	$6.18\pm 0.10\text{h}$	$322.50\pm 1.45\text{a}$	$311.55\pm 1.07\text{a}$
	黄化	$35.24\pm 0.32\text{b}$	$30.61\pm 0.03\text{b}$	$14.22\pm 0.04\text{c}$	$6.76\pm 0.09\text{g}$	$265.66\pm 2.83\text{c}$	$251.49\pm 0.80\text{c}$
	增减百分比/%	-23.26	-13.14	32.03	9.39	-17.62	-19.28
华昌路	正常	$33.68\pm 0.00\text{c}$	$31.24\pm 0.03\text{b}$	$12.21\pm 0.03\text{d}$	$7.71\pm 0.02\text{f}$	$278.38\pm 1.20\text{b}$	$269.83\pm 0.87\text{b}$
	黄化	$31.68\pm 0.03\text{d}$	$28.33\pm 0.05\text{c}$	$14.94\pm 0.03\text{bc}$	$8.08\pm 0.03\text{e}$	$208.13\pm 2.07\text{e}$	$200.26\pm 0.16\text{d}$
	增减百分比/%	-5.94	-9.31	22.36	4.80	-25.24	-25.78

由表 2 表明, 不同采样点土壤速效磷含量变化较大 ($6.18\sim 17.95\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)。以黄化株和 >20 ~ 40 cm 土层速效磷含量较高; 速效磷含量除 0 ~ 20 cm 土层中华路外其余黄化株和正常株之间差异均达显著水平 ($P<0.05$), 0 ~ 20 cm 土层和 >20 ~ 40 cm 土层正常株除 0 ~ 20 cm 土层南海路和华昌路之间外其余间差异均达到显著水平 ($P<0.05$), 黄化株除 0 ~ 20 cm 土层华昌路与南海路和长江路之间外其余间差异均达到显著水平 ($P<0.05$)。0 ~ 20 cm 和 >20 ~ 40 cm 土层均以中华路最高分别为 $17.71\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $15.74\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 南海路其次分别为 14.23

mg·kg⁻¹ 和 12.92 mg·kg⁻¹, 长江路最低分别为 12.5 mg·kg⁻¹ 和 6.47 mg·kg⁻¹。

不同采样点土壤速效钾变化较大, 在 101 ~ 297 mg·kg⁻¹。土壤速效钾含量以正常株和 0 ~ 20 cm 土层略高, 0 ~ 20 cm 和>20 ~ 40 cm 土层除 0 ~ 20 cm 土层南海路和中华路黄化株外其余正常株之间、正常株与黄化株之间及黄化株之间差异均达显著水平 ($P<0.05$); 4 个采样点之间, 0 ~ 20 cm 和>20 ~ 40 cm 土层均以长江路最高分别为 294.08 mg·kg⁻¹ 和 281.52 mg·kg⁻¹, 华昌路其次分别为 243.26 mg·kg⁻¹ 和 235.05 mg·kg⁻¹, 中华路最低分别为 140.84 mg·kg⁻¹ 和 120.87 mg·kg⁻¹。

2.3 黄化樟与正常樟的土壤有效铁锰铜锌含量比较

土壤中含铁量较高, 受各种因素影响不是所有的铁都能被植物吸收利用^[11]。表 3 表明, 不同采样点有效铁变化较大, 在 9.94 ~ 13.80 mg·kg⁻¹, 有效铁含量均以>20 ~ 40 cm 土层和正常株较高, 正常株与黄化株之间差异均达显著水平 ($P<0.05$); 0 ~ 20 cm 土层和>20 ~ 40 cm 土层正常株 4 个采样点之间差异均达到显著水平 ($P<0.05$), 黄化株除 0 ~ 20 cm 土层南海路和华昌路之间外其余差异均达到显著水平 ($P<0.05$)。0 ~ 20 cm 土层 4 个采样点以长江路最高为 11.94 mg·kg⁻¹, 中华路其次为 11.49 mg·kg⁻¹, 华昌路最低为 10.94 mg·kg⁻¹。>20 ~ 40 cm 土层 4 个采样点以华昌路最高为 12.68 mg·kg⁻¹, 长江路其次为 12.26 mg·kg⁻¹, 中华路最低为 12.11 mg·kg⁻¹。

表 3 土壤有效铁锰铜锌变化规律
Table 3 Available Fe, available Mn, available Cu and available Zn in sampled soil

地点	叶片	有效铁/ (mg·kg ⁻¹)		有效锰/ (mg·kg ⁻¹)		有效铜/ (mg·kg ⁻¹)		有效锌/ (mg·kg ⁻¹)	
		0 ~ 20 cm	>20 ~ 40cm	0 ~ 20 cm	>20 ~ 40 cm	0 ~ 20 cm	>20 ~ 40 cm	0 ~ 20 cm	>20 ~ 40 cm
南海路	正常	12.10±0.03c	12.92±0.06c	13.34±0.01f	15.77±0.01e	10.84±0.01e	8.67±0.01d	9.01±0.01g	9.57±0.01a
	黄化	9.92±0.03g	11.30±0.05f	11.15±0.01g	13.77±0.01g	11.89±0.01b	10.25±0.01b	7.54±0.01h	9.01±0.01c
	增减百分比/%	-18.02	-12.54	-16.42	-12.68	9.69	18.22	-16.32	-5.85
中华路	正常	12.70±0.02b	12.77±0.06d	15.65±0.01d	16.31±0.01d	10.18±0.01f	9.24±0.01c	9.84±0.01c	9.04±0.01b
	黄化	10.28±0.02f	10.44±0.02h	14.72±0.01e	15.10±0.01f	12.18±0.01a	10.87±0.11a	9.21±0.01f	8.16±0.01f
	增减百分比/%	-19.06	-18.25	-5.94	-7.42	19.65	17.64	-6.40	-9.73
长江路	正常	13.23±0.03a	13.55±0.04b	17.70±0.01b	17.84±0.01b	10.12±0.01g	8.31±0.01e	10.16±0.01b	8.51±0.01e
	黄化	10.65±0.02e	10.96±0.05g	14.78±0.01e	15.13±0.01f	11.58±0.01c	9.27±0.01c	9.27±0.01e	8.11±0.01 g
	增减百分比/%	-19.50	-19.11	-16.50	-15.19	14.43	11.55	-8.76	-4.70
华昌路	正常	11.94±0.03d	13.80±0.02a	18.89±0.03a	19.29±0.03a	9.06±0.01h	8.51±0.01d	10.46±0.01a	8.57±0.01d
	黄化	9.94±0.03g	11.55±0.02e	15.74±0.01c	16.97±0.01c	11.49±0.01d	10.13±0.01b	9.54±0.01d	8.11±0.01g
	增减百分比/%	-16.75	-16.30	-16.68	-12.03	26.82	19.04	-8.80	-5.37

不同采样点土壤有效锰变化较大, 在 11.15 ~ 19.29 mg·kg⁻¹。有效锰含量均以>20 ~ 40 cm 土层和正常株较高, 正常株与黄化株之间差异均达显著水平 ($P<0.05$); 0 ~ 20 cm 土层和>20 ~ 40 cm 土层均以华昌路最高分别为 17.32 mg·kg⁻¹ 和 18.13 mg·kg⁻¹, 长江路其次分别为 16.24 mg·kg⁻¹ 和 16.49 mg·kg⁻¹, 南海路最低分别为 12.25 mg·kg⁻¹ 和 14.77 mg·kg⁻¹; 0 ~ 20 cm 土层和>20 ~ 40 cm 土层正常株 4 个采样点之间差异均达到显著水平 ($P<0.05$), 黄化株除中华路和长江路之间外其余间差异达显著水平 ($P<0.05$)。

不同采样点土壤有效铜变化较大, 在 8.31 ~ 12.18 mg·kg⁻¹, 各样点土壤有效铜含量都较高。有效铜含量均以 0 ~ 20 cm 土层和黄化株较高, 黄化株与正常株之间差异均达显著水平 ($P<0.05$)。0 ~ 20 cm 土层 4 个采样点正常株与黄化株之间差异均达显著水平 ($P<0.05$); 以南海路最高为 11.37 mg·kg⁻¹, 中华路其次为 11.18 mg·kg⁻¹, 华昌路最低为 10.28 mg·kg⁻¹。>20 ~ 40 cm 土层正常株和黄化株除南海路和华昌路之间外其余间差异达显著水平 ($P<0.05$); 4 个采样点以中华路最高为 10.06 mg·kg⁻¹, 南海路其次为 9.46 mg·kg⁻¹, 中华路最低为 8.79 mg·kg⁻¹。

不同采样点土壤有效锌变化较大, 在 8.11 ~ 10.46 mg·kg⁻¹。土壤有效锌含量以正常株较高, 且与黄化株之间差异达显著水平 ($P<0.05$); 除南海路外其余采样点均以 0 ~ 20 cm 土层较高。0 ~ 20 cm 和>20 ~ 40 cm 土层正常株之间差异均达到显著水平 ($P<0.05$), 黄化株除>20 ~ 40 cm 土层的长江路和华昌路之间外其余间差异达显著水平 ($P<0.05$)。0 ~ 20 cm 土层 4 个采样点以华昌路最高为 10.00 mg·kg⁻¹, 长江路其次为 9.72 mg·kg⁻¹, 南

海路最低为 8.28 mg·kg⁻¹。>20 ~ 40 cm 土层 4 个采样点以南海路最高为 9.29 mg·kg⁻¹, 中华路其次为 8.60 mg·kg⁻¹, 长江路最低为 8.31 mg·kg⁻¹。

2.4 土壤营养元素间的相关性分析

由表 4 可以看出, 土壤有效铁与速效磷、pH, HCO₃⁻和有效铜之间呈负相关, 相关性呈极显著 (P<0.01), 其中与 HCO₃⁻相关性较高为 0.91, 有效铜次之为 0.81, 速效磷较低为 0.53。有效铁与速效氮、速效钾、有机质、有效锰和有效锌之间呈正相关, 有效铁与速效钾、有效锰之间相关性呈极显著 (P<0.01), 与有效锌之间相关性呈显著 (P<0.05)。

表 4 土壤各因子间的相关性
Table 4 The correlation among soil factors

项目	pH	速效氮	速效磷	速效钾	有机质	HCO ₃ ⁻	有效铁	有效锰	有效铜	有效锌
pH	1.00	0.13	0.30*	-0.22	0.21	0.78**	-0.77**	-0.69**	0.73**	-0.27
速效氮		1.00	-0.24	0.73**	0.77	-0.24*	0.25	0.22	0.06	0.32*
速效磷			1.00	-0.70**	-0.22	0.36	-0.53**	-0.54**	0.71**	0.20
速效钾				1.00	0.72**	-0.50**	0.54**	0.62**	-0.47*	0.34*
有机质					1.00	-0.22	0.10	0.26	0.00	0.48*
HCO ₃ ⁻						1.00	-0.91**	-0.69**	0.77**	-0.44**
有效铁							1.00	0.66**	-0.81**	0.30*
有效锰								1.00	-0.69**	0.41*
有效铜									1.00	-0.11
有效锌										1.00

注: **表示在 P<0.01 水平相关性, * 表示在 P<0.05 水平相关性。

3 结论与讨论

3.1 结论

本研究结果显示, 黄化樟立地土壤 pH、HCO₃⁻、速效磷和有效铜都较高, 有机质、速效氮、速效钾、有效铁、有效锰及有效锌含量较低; 有效铁与速效磷、pH、HCO₃⁻和有效铜之间呈负相关, 与速效氮、速效钾、有机质、有效锰和有效锌之间呈正相关; 张家港市长江路和华昌路樟立地土壤土质较好。

3.2 讨论

只有当土壤中营养元素浓度和比例达到最佳点, 植物才能正常生长发育^[12]。本试验结果表明, 黄化樟立地土壤营养元素的浓度较低且比例失调。

李云腾等^[13]通过对茶 *Camellia sinensis* 土壤化验分析提出大部分黄化茶园是由于土壤 pH 值偏高而影响对铁的吸收造成的; 金晶等^[14]通过试验提出高 pH 值明显影响樟生长及存活率, 对樟黄化的形成有重要影响。所以, 土壤高 pH 引起土壤有效铁含量低是导致樟缺铁黄化的主要原因之一。引起土壤 pH 值偏高的原因可能与土壤中石灰类物质如碳酸盐类含量高有关, 也可能与施用生理碱性肥料使土壤碱性增强, 同时不施或施用过少有机肥导致土壤缓冲能力下降有关; 还可能与长期使用地下富含钙离子的碱性水浇灌, 导致土壤变成碱性土有关。

有关 HCO₃⁻与植物失绿已进行了大量研究, 何天明等^[15]提出上层土壤中高浓度 HCO₃⁻对土壤铁的活化与运输有潜在的影响; 任丽轩等^[16]提出在 HCO₃⁻存在的条件下, 营养液中根系的铁 (Ⅲ) 还原酶活性降低; 武建林等^[17]提出 HCO₃⁻是石灰性土壤地区植物黄化的重要原因, 肥料以重碳酸盐的形式供给时, 植物发生黄化或黄化加重, 当水培液中有 HCO₃⁻存在时黄化加重。本研究中各样点土壤 HCO₃⁻含量都较高, 可能是因为南方多雨促进了游离碳酸钙的溶解, 进而增加 HCO₃⁻含量; 还可能由于城市地面被水泥严密覆盖、大型机械碾压和人为活动导致透气性降低。高 HCO₃⁻是引起黄化的主要因素之一, 建议樟立地土壤的洼地注意排水, 板结土壤可通过疏松通气降低 HCO₃⁻含量。

通常认为土壤磷含量较高将加重缺铁失绿症, 武建林等^[17]提出磷从土壤、植物两方面影响铁的移动性, 使进入叶绿体中的铁含量减少, 导致植物发生黄化或黄化加重, 供给磷酸盐也会导致植物发生黄化的程度加深。所以, 建议张家港市市区要减少对樟纯磷肥的施用。

本研究中土壤有效铁与有效铜之间呈负相关,且相关性差异达极显著水平,为防止铁失去生理活性,尽量避免长期对樟使用铜制剂农药。

张家港市长江路和华昌路土质较好,土壤有机质和速效氮含量均较高,养分供应较充分,导致樟黄化的主要因子如速效磷、pH、 HCO_3^- 和有效铜含量低,因而樟生长较健康。另外,与两个路段较高的植被覆盖率有关,植被覆盖率高,其枯枝落叶的积累和根系的分泌物都较多,这些均有助于土壤有机质的增加,从而促进樟对养分的吸收。南海路和中华路黄化程度严重,可能与南海路、中华路是住宅区集中地,生活污水如肥皂水、洗发水和洗洁精水等污染物对樟根系造成直接毒害^[18],从而严重影响樟对养分的吸收。

根据黄化樟立地土壤的养分营养状况,建议施无机铁盐必须配合施用有机肥、低磷的复合肥及酸化介质如红壤或酸化剂,以降低立地土壤的 pH 值和有效磷含量,增加土壤有机质、有效铁等养分含量。张书捷等^[19]提出施入硫酸铵+硝化抑制剂、磷酸和柠檬酸三种酸化剂均可提高土壤有效铁含量和稻 *Oryza sativa* 苗期根系活力,有助于克服稻苗期缺铁黄化,硫酸铵+硝化抑制剂效果最好。

外源施铁在短时间内虽然可以起到良好效果,但要从根本上解决黄化问题尤其对于土质较差的南海路和中华路来说必须改良土壤质量。建议可增施如腐殖酸和黄腐酸等土壤改良剂或对土壤有益的生长素如萘乙酸、吲哚丁酸和细胞分裂素如苄氨基腺嘌呤等;还可引入被称为“活犁耙”或“生物犁”的蚯蚓,因为蚯蚓不仅可以改变土壤的理化性质,还可以使板结贫瘠土壤变成疏松多孔、通气透水和保墒肥沃的土壤,从而改善根际环境、促进作物根系生长,有利于养分的吸收;土施铁肥, Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 容易和磷肥中 PO_4^{3-} 形成沉淀,不易被作物吸收,故还需要改进施肥方式,比如将肥料溶解于水中,通过管道直接输送到樟的根部,可以减少土壤对铁肥的固定。最后,还可以引入一些新型肥料,比如水溶性肥料和微蜜有机水溶肥等。土壤浇灌水溶性肥料可以使樟根部接触到肥料,保证根部快速吸收到养分,而且,水肥同施,可发挥肥水协同效应,使肥水的利用效率均明显提高;微蜜有机水溶肥的阳离子或阴离子基团被聚谷氨酸高分子材料吸附均可呈溶解态,先吸附贮存,再缓慢释放至土壤中,保证对樟养分的持续供应,还可避免因灌溉及大雨冲刷所导致的肥力流失,从而不仅可以提高肥料利用率,补充土壤营养,还能改善土壤结构。同时,建议尽量采用“少量多次施用”原则进行施肥,这样既能满足樟根系能不间断的吸收到养分,又能避免一次性大量施肥造成的淋溶损失,从而减少施肥总量。此外,0~20 cm 土层养分含量低,且表层易堆积废弃物使表层土壤质量变差,必要时要考虑换土;同时,要配合加强综合养护管理。

参考文献:

- [1] 李士洪. 樟树黄化病综合治理应对策略研究[J]. 中国园艺文摘, 2018, 3: 121-125.
- [2] 张俊叶, 司志国, 俞元春, 等. 徐州市樟树黄化病与土壤理化性质的关系[J]. 浙江农林大学学报, 2017, 34(2): 233-238.
- [3] 罗洮峰, 王小兵, 李永丰. 幼龄苹果园不同黄化症状与土壤养分及叶片营养元素相关性的研究[J]. 新疆农垦科技, 2018, 1, 21-24.
- [4] 赵建林. 香樟黄化病防治对春季生长发育的作用分析[J]. 林业科学, 2018, 38(21): 100-101.
- [5] 杨鼎超, 衷诚明, 郭铎艳, 等. 我国樟树病害分布及防治研究进展[J]. 生物灾害科学, 2018, 41(3): 176-183.
- [6] 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, 12-13, 109-110, 180-181, 207-208.
- [7] 土壤标准分析测定法委员会. 土壤分析标准法[M]. 北京: 北京大学出版社, 1988, 89-90.
- [8] 江姗, 赵光影, 臧淑英, 等. 排水对小兴安岭森林沼泽湿地溶解性有机碳和有效氮磷的影响[J]. 生态学报, 2017, 37(5): 1401-1408.
- [9] 田霄鸿, 胡志桥, 李生秀, 等. 碳酸氢根与水肥同层对玉米幼苗生长和吸收养分的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(6): 757-763.
- [10] 范七君, 牛英, 陈传武, 等. 叶片黄化金柑植株的叶片及土壤矿质营养含量分析[J]. 南方农业学报, 2017, 48(3): 470-474.
- [11] 余存祖. 黄土区土壤铁的含量及其有效性[J]. 陕西农业科学, 1982, 6: 26-28.
- [12] 张洁, 刘桂华, 赵浩彦. 香樟生理黄化的发生与其营养环境之间的关系[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(3): 122-125.
- [13] 李云腾, 刘永华, 李坤灼, 等. 广西茶园黄化原因及解决方法的研究[J]. 广西农学报, 2014, 29(1): 29-32, 49.
- [14] 金晶, 涂继红, 朱芳, 等. pH 胁迫对银木和樟树生长的影响[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(21): 200-202.
- [15] 何天明, 刘泽军, 覃伟铭, 等. 土壤因子对库尔勒香梨缺铁失绿症发生的影响[J]. 西北农业学报, 2013, 22(1): 97-103.
- [16] 任丽轩, 左元梅, 江荣凤, 等. 石灰性土壤上 HCO_3^- 诱导花生缺铁失绿机制[J]. 生态学报, 2005, 25(4): 795-801.
- [17] 武建林, 李有文, 李立平, 等. 植物黄化与氮磷钾营养的关系[J]. 西北农业学报, 2004, 13(1): 104-108.
- [18] 马玉芳, 王洪起, 宋红梅, 等. 红富士苹果幼树根系分布及年生长特性研究[J]. 中国果树, 1993, 3: 1-4.
- [19] 张书捷, 张新疆, 王娟, 等. 施用土壤酸化剂和调整播期防治膜下滴灌水稻苗期缺铁黄化的效果研究[J]. 中国水稻科学, 2015, 29(5): 519-527.