

城市路口差异对行道树叶片叶绿素含量的影响研究*

李美平^{1,2} 朱宇恩^{3#} 尚晋伟³ 郑国璋¹

(1. 山西师范大学城市与环境科学学院, 山西 临汾 041004; 2. 临汾职业技术学院经济管理系, 山西 临汾 041000;

3. 山西大学环境与资源学院, 山西 太原 030006)

摘要 为明确城市道路路口差异对行道树叶片叶绿素的影响, 研究选取太原市平阳路和长风街 2 条城市主干道为采样点, 采集春、秋季大十字路口、小十字路口、丁字路口和非路口绿化植株叶片, 测定叶片叶绿素 a 含量、叶绿素 b 含量及叶绿素总量。结果表明: (1) 城市交通对行道树叶片叶绿素总量影响为冬青卫矛 (*Euonymus japonicus* Thunb.) > 国槐 (*Sophora japonica*) > 毛白杨 (*Populus tomentosa*)。冬青卫矛适宜作指示物种。(2) 与清洁对照区相比, 污染区国槐和毛白杨叶片的叶绿素 a、叶绿素 b 的含量及两者比值总体呈增加态势, 冬青卫矛叶片叶绿素 a、叶绿素 b 含量则以减少为主。(3) 冬青卫矛叶片的叶绿素 a 含量相对叶绿素 b 含量影响明显, 表现出了较好的相关性, 建议用叶绿素 a 含量作为污染指示指标。(4) 路口差异对不同种类行道树叶片叶绿素影响未显现一致性, 表明路口差异受街道走向、交通流量、扩散能力、植株株高等多因素影响。在道路不畅、车流量大的区域, 应在吸尘抑毒和降低绿化高度、增加扩散能力间寻求一种最佳平衡。

关键词 大气污染 叶绿素 城市 路口 行道树

Influence of road intersection difference on chlorophyll content of roadside tree LI Meiping^{1,2}, ZHU Yuen³, SHANG Jinwei³, ZHENG Guozhang¹. (1. College of Urban and Environment Sciences, Shanxi Normal University, Linfen Shanxi 041004; 2. Department of Economic Management, Linfen Vocational and Technical College, Linfen Shanxi 041000; 3. School of Environment and Resources, Shanxi University, Taiyuan Shanxi 030006)

Abstract: 9 sampling sites were set at two main roads of Pingyang Road and Changfeng Street in Taiyuan city. The content of chlorophyll a (c_a), chlorophyll b (c_b) and total chlorophyll in leaves of road side trees were determined to investigate the effects of road intersection difference on chlorophyll value of roadside tree. The results show that the influence of urban transportation to chlorophyll of different species of trees followed the sequence of holly > Chinese scholar tree > white poplar, the influence might be related to the height of these tree. The traffic pollution would increase the c_a , c_b , c_a/c_b value in Chinese scholar tree and white poplar, while decrease the c_a , c_b value in holly, influence of road intersection on different road trees did not presents consistency, chlorophyll value in roadside trees would be affected by street orientation, traffic flow, pollution diffusibility and plant height and so on, among which, pollutant emission and diffusibility hold the key. It was finally concluded that holly and chlorophyll a could be used as biomonitors and indicator for traffic pollution. Choice of road planting species should maintain a balance between dust absorption, inhabiting bacteria and high diffusibility.

Keywords: air pollution; chlorophyll; urban; road intersection; roadside tree

目前, 城市大气、水和土壤环境质量多按照选定的理化参数作为判定依据, 但这些理化参数并不能反应多种污染物对植物机体组织造成的协同、拮抗和加和等效应, 同时选定的理化参数的测定数据呈间断性分布, 不能反应污染物对植物机能损伤的时间效应。生物(植物)监测则能有效克服上述的缺陷, 综合反应环境质量的变化, 有关生物指示的优越性已为学术界所关注^[1]。

地衣(*Platismatia glauca*)是较为常用的城市大气质量指示生物。地衣种群和生化特征会随着大

气环境质量的恶化而改变, 地衣富集有毒微量元素作用也曾有相关报道^[2]。蒲公英(*Taraxacum officinale*)作为一种普通的禾本科杂草, 当作环境污染的指示植物已有大量的研究^[3,4], 且在波兰和美国已有应用实例^[5,6]。树木的指示作用也有发现, 橡树(*Quercus ilex*)^[7]和云杉(*Picea abies* L. Karst)^[8]在反映有毒微量元素富集和持久性有机物积累时呈现良好的相关性。

植物叶绿素是植物合成有机物和获得能量的根本源泉。在光能的吸收、传递和转换中起着重要

第一作者: 李美平, 女, 1977 年生, 硕士研究生, 助教, 主要从事区域开发与可持续发展研究。# 通讯作者。

* 山西省软科学基金项目(No. 2008041032-03)。

作用。植物受到逆境胁迫时,各种生理过程都会受到影响,从而直接或间接地影响其含量^[9]。研究表明,SO₂能降解叶绿素,降低植物叶片的叶绿素含量,破坏叶绿体,改变叶绿素组成比例。叶绿素含量的下降幅度与 SO₂、NO₂、HF 等污染气体的浓度呈正相关,特别是当叶片出现可见伤害症状后,叶绿素含量往往大幅度下降^[10],具有作为污染指示剂的良好潜力。

城市道路污染特征有别于一般的城市大气,突出体现在城市大气的非均质特性,除典型城市工业和居民污染物外,还掺杂着机动车辆排放的尾气中的各种成分,如 CO、碳氢化合物、硫氧化物、CO₂、NO、NO₂、醛类和颗粒物等;也有因车辆行驶导致的较大风力、较高温度等各种对行道树生长不利的环境因子^[11],使城市行道树处于一个较复杂的环境中,且不同的路口分布使道路气流场处于一个复杂的快速变化环境中,测定其中任意一种环境因子或污染物都不能全面反映交通繁忙区不同路口的污染程度。城市行道树的生长状况是对其中变化的各种环境因子的综合反映,具有作为环境污染指示剂的良好基础。

为了明确路口差异对行道树叶片生化参数(叶绿素 a 含量、叶绿素 b 含量、叶绿素总量)特性的影响,笔者研究了用叶绿素指标作为城市道路大气质量指示参数的可行性和行道树选择标准的适宜性,进而为城市绿化和交通污染生物指示树种选择提供参考。

1 材料与方法

1.1 采样点选择

分别在长风街(东西向)、平阳路(南北向)和山西大学设置 9 个采样点,其中山西大学采样点 1 个(C1),作为清洁对照区样点(山西大学位于山西省太原市文教区,周边以学校和居民区为主,各种废气排放量较少,环境质量较好;而本采样点位于山西大学南区机动车禁行区,污染源较少,故作为清洁对照区);其余 8 个采样点分别在长风街和平阳路上,作为污染区样点。长风街 4 个依次为平阳路长风街路口(S1)、长风街体育西路路口(S2)、长风街原 63 军路口(S3)、长风街丹特森西 100 m 处(S4);平阳路 4 个依次为平阳路南内环路口(R1)、平阳路西二巷路口(R2)、平阳路亲贤街路口(R3)、平阳路金洋会馆门前(R4)。其中,长风街、平阳路以及南内环街为太原市主要干道,组成了平阳路长风街路口与平阳

路南内环路口 2 个大十字路口;体育西路和平阳路西二巷为小型街道,分别与长风街和平阳路组成了小十字路口;长风街原 63 军路口与平阳路亲贤街路口均为丁字路口;而长风街丹特森西 100 m 处与平阳路金洋会馆门前均为非路口。平阳路行道树种有冬青卫矛(*Euonymus japonicus* Thunb)、国槐(*Sophora japonica*);长风街行道树种有冬青卫矛、国槐、毛白杨(*Populus tomentosa*)。

1.2 样本采集

2008 年秋季(10 月)和 2009 年春季(4 月),分别采摘冬青卫矛、国槐、毛白杨 3 种具有代表性的太原市常见行道植物的当年新叶叶片作为样本。其中,乔木选择相同树龄的健康树种,取其树冠中部当年生向阳的新鲜叶片;灌木取其植株上部当年生新鲜叶片(采集时取其第 3~5 片新叶),形状大小基本相同。要求每个采样点、每个样本采集 5 组叶片作为重复,并于同一天 9:00 左右采集,置于带有冰块的保温瓶中,带回实验室(存放于 4 ℃ 冰箱中)进行植物叶片叶绿素 a、叶绿素 b 含量的测定、分析。因冬季树叶几乎没有,且 2009 年平阳路道路改造,夏季采样点受人为影响较大,故未做冬季和夏季行道树叶片叶绿素含量分析。

1.3 研究方法

取叶片,称取 0.5~1.0 g 鲜质量,剪碎后置于研钵中,加入 80%(质量分数)丙酮 5 mL 研磨,直至研成匀浆,然后将其全部倒入 10 mL 离心管内,并用丙酮定容至 10 mL。然后在冷藏箱内静置 1 h,取出后在离心机上 1 500 r/min 下离心 10 min。用 722 型分光光度计在波长为 645、663 nm 下分别测定各植物叶片叶绿素提取液的光密度值,并根据 Aron 公式(见式(1)至式(3))计算叶绿素 a、叶绿素 b 质量浓度及叶绿素总量。

$$c_a = 12.7A_{663} - 2.69A_{645} \quad (1)$$

$$c_b = 22.9A_{645} - 4.68A_{663} \quad (2)$$

$$c_t = c_a + c_b = 8.02A_{663} + 20.21A_{645} \quad (3)$$

式中: c_a 、 c_b 、 c_t 分别为叶绿素 a 质量浓度、叶绿素 b 质量浓度、叶绿素总量,mg/L; A_{645} 、 A_{663} 分别为波长为 645、663 nm 下各植物叶片叶绿素提取液的光密度值。

2 结果与讨论

2.1 交通环境对行道树叶片叶绿素总量的影响

春秋季冬青卫矛、国槐、毛白杨叶片的叶绿素总量均值见表 1。

表 1 春秋季冬青卫矛、国槐、毛白杨叶片的叶绿素总量均值¹⁾

Table 1 Mean chlorophyll content of trees in spring and autumn mg/L

季节	采样区	冬青卫矛	国槐	毛白杨
春季	污染区	18.86 * *	30.91 *	19.32 *
	清洁对照区	26.76	26.02	16.79
秋季	污染区	13.00 * *	21.52 *	11.25
	清洁对照区	18.16	17.93	10.40

注: ¹⁾“*”表示 $P < 0.05$, 显著差异; “* *”表示 $P < 0.01$, 极显著差异。表 3 同。

由表 1 可见: (1) 对于清洁对照区和污染区叶绿素总量, 冬青卫矛在春秋季均呈极显著差异; 国槐在春秋季均呈显著差异; 毛白杨仅在春季呈显著差异。这说明城市交通对冬青卫矛影响最大, 毛白杨最小, 即影响依次为冬青卫矛 > 国槐 > 毛白杨。这可能与 3 者的高度差异有关, 冬青卫矛是灌木, 植株矮小、叶片贴近地面, 受污染物直接影响; 国槐次之, 毛白杨树干高挑, 叶均分布在上部, 所受影响小。研究也证实, 太原市除逆温等不良气象条件外, 呈现污染物由地面向上依次减轻的趋势^[12]。(2) 叶绿素在春季所受影响要大于秋季, 这也与树木春季生长快速、代谢旺盛, 秋季逐渐进入代谢平衡、光合作用减弱的规律相符。

同时, 从受影响程度看, 因 3 者不处于同一高度, 不易区别 3 种植株的耐性强弱, 但冬青卫矛更适宜作为污染程度的指示植物。

2.2 交通环境对城市行道树叶片叶绿素 a、叶绿素 b 的影响

由表 2 可见: (1) 与清洁对照区相比, 污染区国槐和毛白杨叶片叶绿素 a、叶绿素 b 含量及 c_a/c_b 总体呈增加态势, 冬青卫矛叶片叶绿素 a、叶绿素 b 含量则以减少为主。(2) 与清洁对照区相比, 污染区冬青卫矛叶片叶绿素 a 含量降幅要显著大于叶绿素 b, 而国槐、毛白杨叶片叶绿素 a、叶绿素 b 含量虽均有一定幅度的增长, 但经方差分析, 均未达到显著水平 ($P < 0.05$)。这也进一步证实, 冬青卫矛适合作为道路空气污染指示植物。

有研究显示, 植物长期生长于大气受到污染的生活环境中, 大气中的各种有毒气体可使植物体内的各种酶及光合器官等遭到破坏, 植物的生理过程受到影响, 其中植物叶片的叶绿素 a、叶绿素 b 含量及叶绿素总量都发生明显变化。在对叶绿素的破坏中, 叶绿素 a 和叶绿素 b 都会受到破坏而分解, 但对叶绿素 a 和叶绿素 b 含量影响却出现多种说法。有研究认为, 在受到大气污染的环境中, 具较多辅助及

表 2 各采样点冬青卫矛、国槐、毛白杨叶片的叶绿素 a、叶绿素 b 质量浓度¹⁾

Table 2 The chlorophyll content of trees at different intersection

采样点	树种	$c_a / (\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$c_b / (\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	c_a / c_b
C1	冬青卫矛	11.31	6.86	1.65
	国槐	10.65	7.29	1.46
	毛白杨	6.53	3.86	1.69
S1	冬青卫矛	7.70	4.59	1.68
	毛白杨	7.78	4.69	1.66
S2	冬青卫矛	5.72	3.21	1.78
	毛白杨	8.47	4.46	1.90
S3	冬青卫矛	7.38	4.45	1.66
	毛白杨	7.35	4.02	1.83
S4	冬青卫矛	7.07	4.61	1.53
	毛白杨	5.42	2.82	1.92
R1	冬青卫矛	7.59	4.40	1.73
	国槐	16.16	9.31	1.74
R2	冬青卫矛	7.74	4.54	1.70
	国槐	12.89	8.07	1.60
R3	冬青卫矛	9.57	6.29	1.52
	国槐	13.32	8.52	1.56
R4	冬青卫矛	10.71	6.76	1.59
	国槐	10.87	6.97	1.56

注: ¹⁾ 毛白杨、冬青卫矛在长风街沿线各个路口均有分布, 而国槐有一些路段改由栎树代替, 因此国槐叶片叶绿素数据不分析。表 3 同。

保护作用的叶绿素 b 较对植物光合作用起主要作用的叶绿素 a 更易分解, 致使叶绿素总量下降, c_a/c_b 上升^[13,14]。但丛者福^[15]、刘燕云等^[16]、李寒娥^[17]发现, 污染物影响下, 树木叶片 c_a/c_i 持续下降, c_b/c_i 持续上升, c_a/c_b 逐渐缩小。本次研究中, 交通环境对城市行道树叶片 c_a/c_b 的影响不同, 这可能与叶绿素 a 和叶绿素 b 间的相互转化有关^[18], 也可能是叶绿素 a 和叶绿素 b 同步分解的原因^[19], 因此不适合用 c_a/c_b 判断大气污染对植物的影响程度。从本研究结果看, 冬青卫矛叶片的 c_a/c_b 在各采样点表现出不同的变化规律, 难以作为污染物指示指标, 而叶绿素 a 含量相对叶绿素 b 含量影响明显, 差异显著, 表现出了较好的相关性, 建议用叶绿素 a 含量作为污染指示指标。

2.3 路口差异对行道树叶片叶绿素总量的影响

由表 3 可见, 长风街上, 冬青卫矛叶片叶绿素总量依次为 $S1 > S3 > S4 > S2$, 即大十字路口 > 丁字路口 > 非路口 > 小十字路口; 毛白杨叶片叶绿素总量依次为 $S3 > S2 > S1 > S4$, 即丁字路口 > 小十字路口 > 大十字路口 > 非路口。冬青卫矛和毛白杨呈现出不同的分布趋势, 但整体而言, 非路口叶片的叶绿素

总量较低。说明非路口虽然车速较路口快,污染物相对排放少,但由于周围建筑的阻挡,不利于污染物的扩散,使叶绿素含量较低。

表 3 各采样点冬青卫矛、国槐、毛白杨叶片叶绿素总量均值
Table 3 Mean chlorophyll content of trees at different intersection mg/L

采样点	树种	春季	秋季	均值
S1	冬青卫矛	19.75	12.29	16.02 *
	毛白杨	17.66	12.47	15.07
S2	冬青卫矛	19.27	8.92	14.10
	毛白杨	18.42	12.92	15.67
S3	冬青卫矛	19.17	11.82	15.50
	毛白杨	21.75	11.37	16.56 *
S4	冬青卫矛	19.24	11.68	15.46
	毛白杨	19.46	8.24	13.85
R1	冬青卫矛	18.28	11.98	15.13
	国槐	37.65	25.47	31.56
R2	冬青卫矛	17.30	12.28	14.79
	国槐	30.66	20.96	25.81
R3	冬青卫矛	18.89	15.86	17.38
	国槐	27.83	21.83	24.83
R4	冬青卫矛	18.95	17.46	18.21
	国槐	27.52	17.84	22.68

大十字路口的冬青卫矛叶片叶绿素总量最高,这与该路口特殊的地理位置和交通条件相关,路口西面临近长风桥,采样时路口西侧及桥西尚未形成成片高层建筑,位置紧邻汾河河谷,形成太原市一个风口,桥东高楼林立,易形成峡谷风,空气流通对污染有扩散和稀释的作用,而其他 3 个路口对冬青卫矛的影响未达到显著程度,这与长风街道路宽阔(80 m)、污染物不易集聚有关。丁字路口的毛白杨叶片叶绿素总量最高,除长风街较强的扩散能力外,与道路两侧所驻单位绿化条件较好、树木众多、丁字路口正对军队大院、交通流量少有关。以上可看出,交通环境对行道树叶叶绿素含量的影响受多种因素控制。

由表 3 还可见,平阳路上,冬青卫矛叶片叶绿素总量依次为 $R4 > R3 > R1 > R2$,即非路口 $>$ 丁字路口 $>$ 大十字路口 $>$ 小十字路口;国槐叶片叶绿素总量依次为 $R1 > R2 > R3 > R4$,即大十字路口 $>$ 小十字路口 $>$ 丁字路口 $>$ 非路口。与长风街不同,平阳路为南北向街道,红线宽度仅为 50 m,车辆拥堵概率高于长风街,且污染物不易扩散,所以交通中污染物产生量成为叶绿素含量的决定因素。结合日常不同路口拥堵概率可以发现,冬青卫矛叶片叶绿素总量与交通拥堵程度呈负相关关系;国槐叶片叶绿素总量随路口的

差异主要是污染物扩散能力占主导因素造成。

3 结 语

(1) 城市交通对冬青卫矛叶片叶绿素总量影响最大,毛白杨最小,即影响依次为冬青卫矛 $>$ 国槐 $>$ 毛白杨。其中,冬青卫矛由于植株矮小,直接受污染物影响,春秋季其叶片清洁对照区和污染区叶绿素总量呈极显著差异,适宜作指示物种。

(2) 与清洁对照区相比,污染区国槐和毛白杨叶片叶绿素 a、叶绿素 b 含量及 c_a/c_b 总体呈增加态势,冬青卫矛叶片叶绿素 a、叶绿素 b 含量则以减少为主;污染区冬青卫矛叶片叶绿素 a 含量降幅要显著大于叶绿素 b,而国槐、毛白杨叶片叶绿素 a、叶绿素 b 含量虽均有一定幅度的增长,但经方差分析,均未达到显著水平($P < 0.05$)。这也进一步证实,冬青卫矛适合作为道路空气污染指示植物。

(3) 交通环境对不同种城市行道树叶 c_a/c_b 影响不同,不适合用 c_a/c_b 判断大气污染对植物的影响程度。冬青卫矛叶片的叶绿素 a 含量相对叶绿素 b 含量影响明显,差异显著,表现出了较好的相关性,建议用叶绿素 a 含量作为污染指示指标。

(4) 路口差异对不同种类行道树叶叶绿素影响未显现一致性,表明路口差异受街道走向、交通流量、扩散能力、植株株高等多因素影响,其中污染物排放量和扩散能力是影响叶绿素含量的主因。在道路不畅、车流量大的区域,应在吸尘抑毒和降低绿化高度、增加扩散能力间寻求一种最佳平衡。

参考文献:

- [1] WOLTERBEEK H T, GARTY J, REIS M A, et al. Chapter 11 Biomonitoring in use: lichens and metal air pollution[J]. Trace Metals and Other Contaminants in the Environment, 2003, 6: 377-419.
- [2] RA H S Y, GEISER L H, CRANG R F E. Effects of season and low-level air pollution on physiology and element content of lichens from the U. S. Pacific Northwest[J]. Science of the Total Environment, 2005, 343(1/2/3): 155-167.
- [3] KULEFF I, DJINGOVA R. The dandelion (*Taraxacum officinale*)-a monitor for environmental pollution? [J]. Water Air and Soil Pollution, 1984, 21(1/2/3/4): 77-85.
- [4] DJINGOVA R, KULEFF I. Seasonal variations in the metal concentration of *Taraxacum officinale*, *Plantago major* and *Plantago lanceolata* [J]. Chemistry and Ecology, 1999, 16(2/3): 239-253.
- [5] KABATA PENDIAS A, DUDKA S. Trace metal contents of *Taraxacum officinale* (dandelion) as a conventional environmental indicator[J]. Environmental Geochemistry and Health, 1991, 13(2): 108-113.

(下转第 49 页)