

# 植物叶硒的时空变异规律研究

朱发庆\* 谭见安 屈翠辉

(中国科学院 地理研究所)  
(国家计划委员会)

**提 要:** 本文以加杨叶为主, 首次研究了植物叶硒的时空变异规律。得出脱落前夕不久的九、十月份加杨叶能较好地反映大气硒含量水平, 而其它生长期的加杨叶则一般主要反映土壤硒的含量状况。此外, 还研究得到了一些其它植物老叶硒与环境的关系。

**主题词:** 硒 叶硒 加杨

环境贫硒已被证实为克山病、大骨节病的发生的一个主要因素。以往对硒的研究, 多限于土壤—粮食—人体及饮水—人体传输系统, 对硒在大气—植物系统之间的迁移累积状况的研究国内尚未见报道。

另一方面, 硒在各种岩石中的含量为 $0.01 \sim 0.6 \text{PPm}$ 间, 海水中的平均浓度也仅为 $0.004 \text{PPm}$ , 生物圈中的浓度为 $0.1 \sim 1 \text{PPm}^{[1]}$ 。在总结我室多年工作基础上, 得到我国主要土壤类型表层硒含量为 $0.16 \text{PPm}^{[2]}$ 。在清洁大气中, 气溶胶硒含量仅为 $0.1 \text{ng/m}^3$ 左右<sup>[3]</sup>, 降水硒亦仅在 $0.01 \text{PPb} \sim 0.5 \text{PPb}$ 间<sup>[4]</sup>。这些数据反映出元素硒在各地圈层中的分布十分均衡和有限, 正常情况下不易富集, 特别在清洁大气中的含量更是微乎其微。在自然状况下, 也发现某些土壤中硒的高度富集现象, 如湖北恩施、陕西紫阳的某些局部区域土壤含硒量最高可达 $40 \sim 50 \text{PPm}$ 。但研究表明这主要是含硒高达 $61.31 \text{PPm}$ 的煤层出露造成的。硒在一般介质中含量均很低, 唯独在煤、石油等燃料中含量普遍在 $10 \text{PPm}$ 以上。故在煤、石油使用集中的城市, 大气中硒有较高的相对富集值。国外早有空气高硒引起作业工人中毒的报道, Joe Kubota 等揭示了降水硒的最主要来源是燃料的燃烧<sup>[5]</sup>。我国王明星等<sup>[6]</sup>通过对北京气溶胶元素的分析也表明, 城区与郊区气溶胶中硒含量有很大差异, 城区为 $18.3 \text{ng/m}^3$ , 兴隆仅 $1.3 \text{ng/m}^3$ , 八达岭则在 $0.1 \text{ng/m}^3$ 以下。在硫、铅、砷、硒等众多与大气污染有关的元素中, 煤烟中的富集因子以硒最高, 比硫还要高一个数量级。朱光华等<sup>[6]</sup>的研究得到了北京市气溶胶中硒的富集因子大大高于其它元素富集因子的结果。我们对降水硒的研究也得到大气硒主要来源于燃料燃烧的观点<sup>[4]</sup>。这与大气污染的缘由是一致的, 因此用硒在大气中的含量来反映大气环境质量状况无疑是一好的方法。有关大气对植物叶硒含量的影响研究

本文1989年1月6日收到, 1989年11月13日收到修改稿。

本文实验得到李德珠、陆毅伦、王丽珍、赵乃芹等的协助; 写作中承蒙朱文郁、李日群、王五一等提出宝贵意见, 特此致谢。

\* 现在武汉大学环境科学系工作

又有了另一方面重要意义。

## 一、样品来源与实验方法

我们在北京城区与远郊的怀柔水库旁各选一个采样点，从加杨(*Populus canadensis*)出叶至落叶前夕间每隔一段时间同时采集两点的加杨叶、茎样品，以便揭示加杨叶在不同的大气环境条件下随植物叶的生长硒含量的累积变化情况。选定怀柔水库东北岸旁的杨树林区为怀柔水库采样点；因城区下垫面状况十分复杂，对局地大气质量影响较大，故以下垫面相对均一的天坛公园为城区采样点。为进一步揭示大气硒与加杨叶硒之间的联系，在10月份加杨叶脱落前夕另由城区至远郊及河北部分地区设对照点采集了若干加杨、毛背杨(*Populus alba*)叶样品。选点时，同样注意了样品的代表性。

由各采样点选定五棵以上的树作为采样对象，在高约二米处采集树叶，混装于同一取样袋。当日即用水将叶表面小心洗净，以去离子水冲涮三次，甩去水滴，放入65°C烘箱烘干。取出时迅速装入干净纸袋内，趁脆将叶揉碎备用。叶片用 $\text{HNO}_3\text{—HClO}_4$ 消化后采用2, 3—二氨基萘(DAN)荧光分光光度法测定硒；碘用硫酸铈催化法测定，氟的测定采用氟离子选择电极法。

## 二、结果与讨论

由表1和图1不难看出以下规律：

1. 加杨叶整个生命过程中硒含量变化在0.03~0.5PPm间。茎硒含量总小于叶硒含量，且在不同时期保持相对的稳定性，其值为0.01~0.07PPm；

2. 叶出二十天内，两地加杨叶硒含量都由高值迅速下降，此后即维持在一个较稳定的水平，直至两个月后，叶硒含量方始上升；

表 1 不同时期加杨叶、茎硒含量 (PPm)

Leaves and stem selenium content of candian poplar (*Populus canadensis*)  
in different period

时间 (月、日)		4.7	4.14	4.21	4.28	5.6	5.17	6.10	7.6	8.6	10.5	10.18
采样地点												
天 坛 公 园	叶	0.218	0.123	0.121	0.106	0.106	0.094	0.107	0.155	0.273	0.491	
	茎	0.030	/	/	/	0.033	0.042	/	0.072	/	/	/
怀 柔 水 库	叶	0.098	0.101	0.060	0.043	0.045	0.044	0.035	0.033	0.045	/	0.117
	茎	0.026	/	/	/	0.012	0.025	/	0.010	/	/	/

3. 两个地点加杨叶硒含量上升幅度有明显差异。至叶落前夕的 10 月，天坛加杨叶硒含量比稳定时期上升了约 1.1PPm，是怀柔上升幅度的 5 倍。

加杨叶刚出芽时有较高的硒含量，可能是加杨叶在幼芽时储存备用的一种反映。据研究<sup>[7]</sup>，人出生前和出生后的前几个月，体硒含量亦很高，以后逐渐下降到一个较稳定的水平。这也可能是硒作为人体所必需的营养元素之一在胎儿时期储存备用的一种反映。

在加杨叶生长发育成熟前（叶出两个月后），两地叶硒含量不随时间变化表明，在此阶段叶硒含量主要与土壤硒有关，大气硒也可能有一定的影响。关于此阶段植物叶硒与土壤硒之间的关系，我们曾以五月份的嫩柳叶（*Salix sp.*）为对象作了研究，从我国福建长乐至陕西永寿间采集了九个柳叶样品（样品的选点原则及取样、处理、分析方法同前）及其生长地的土壤样品，结果发现除沿海地区三个点柳叶硒与土壤硒之间的关系不很密切外，其余六个点柳叶硒Y与表层土壤硒X之间具有非常显著的正相关关系（ $Y = -0.1123 + 1.039X$ ,  $r = 0.9928$ ）（见表 2），这也是本文未对两地土壤硒加以对比研究的原因。

加杨叶发育成熟后（叶出两个月后），其硒含量开始上升，表明加杨叶成熟后具有累积硒的效应。天坛加杨硒含量上升幅度大大高于怀柔，表明两地叶硒的累积差异源于大气而非

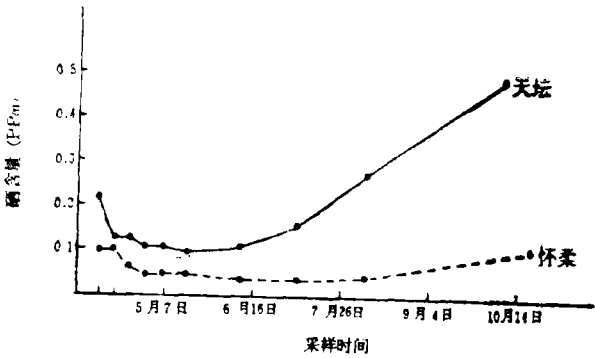


图 1 不同时期加杨叶硒的动态变化  
Selenium dynamics in *Populus Canadensis* leaves

表 2 我国部分地区柳树嫩叶、表层耕作土硒含量 (PPm)

Content of selenium in willow leaves and topsoil in China (PPm)

采 样 地 点	采 样 时 间	柳 叶 硒	表层耕作土硒
福建龙海	85年 5 月 6 日	0.223	0.592
长 乐	1 月 31 日	0.149	0.572
沙 县	5 月 3 日	0.054	0.453
江西余江	5 月 13 日	0.309	0.416
德 安	5 月 27 日	0.170	0.269
湖北汉川	6 月 2 日	0.241	0.320
丹江口	6 月 5 日	0.165	0.272
陕西潼关	6 月 7 日	0.088	0.196
永 寿	6 月 10 日	0.062	0.171

土壤。这可在植物生理学上得到解释：叶片发育成熟后，原有的叶片与根部的密切联系逐渐减弱，有选择地从土壤中吸收元素的功能逐渐衰退，这时若大气中有较高的元素含量，叶片就可能被迫吸收该元素，导致叶片后期该元素的累积。因此，至叶落前夕的10月份，加杨叶才能最好地反映出大气硒含量水平，本文特称该时期的植物叶为“老叶”。由于在老叶时期叶硒似仍呈增高趋势，故以加杨老叶硒反映大气硒含量时，应使采样时间基本相同。

使这一结论得到更充分的证实是在我们分析研究了十月份采集的北京城区至郊区及河北

表 3 北京市、河北省部分地区加杨、毛背杨老叶硒 (Se)、碘(I)、氟(F)含量(PPm)

Old leaves selenium, iodine and fluorine content of plants in Beijing  
and Hebei province (PPm)

采 样 地 点	采样时间	Se	I	F
中山公园南门外。	85.10.9	0.283	0.96	35.8
北海公园内*	10.9	0.781	1.31	35.8
南礼士电力研究所内	10.7	0.724	0.74	46.6
日坛公园内*	10.9	0.268	1.70	10.5
紫竹院公园内	10.13	0.368	0.75	33.2
玉渊潭公园内	10.13	0.234	1.18	77.0
地坛公园内*	10.5	0.389	0.85	23.0
天坛公园内	10.5	0.491	0.98	34.3
中关村科学院*	10.13	0.716	0.93	45.3
玉泉路研究生院内	10.13	0.132	1.00	35.0
苹果园地铁站	10.7	0.574	1.30	191.8
门头沟区水闸城子村*	10.7	0.256	0.65	55.8
门头沟区西辛房小学内	10.7	0.187	0.91	65.8
朝阳区大屯	10.17	0.091	1.20	41.2
朝阳区大羊坊	10.14	0.112	0.80	29.6
大兴康庄东口	10.26	0.216	1.28	83.8
大兴辛力村	10.27	0.264	1.43	45.1
河北霸县二招	10.27	0.214	0.75	45.1
河北任丘县北4公里	10.28	0.103	1.25	31.0
顺义南法信乡	10.17	0.163	0.88	26.1
怀柔水库东北岸边	10.18	0.117	1.70	39.1
密云水库车营子	10.18	0.054	0.48	29.6
颐和园青龙桥*	92.5	0.271	0.09	33.0
通县杨闸中学	10.24	0.268	1.63	58.7
河北三河县城北2公里	10.24	0.275	1.65	112.8
河北玉田县城北付各庄	10.24	0.406	1.40	26.1
河北北戴河海滨	10.22	0.182	2.05	54.4
秦皇岛东山公园	10.23	0.182	2.98	95.1
天坛公园内*	10.5	0.569	0.98	24.3
天坛公园东门外公路*	10.5	0.630	1.01	42.5
香山植物园内	9.25	0.252	0.64	23.3
香山植物园外公路	9.25	0.451	0.48	45.9

标有\*号者为毛背杨外，其他取样点都是加杨。

部分地区的加杨、毛背杨老叶样品之后实现的。从表 3 天坛公园内的加杨、毛背杨数据看，两者间的差异是很小的，故在无加杨的地方，权且可用毛背杨代之。表 3 为我们提供了以下几点结果：

（1）总的趋势是城区叶硒含量明显高于郊区。远离城区的密云水库加杨叶硒仅为 0.054PPm，怀柔为 0.117PPm，至顺义增至 0.163PPm，城区最高则达 0.7PPm 以上；

（2）城区与近郊叶硒含量也呈由近郊至城区叶硒含量逐渐增高的趋势。如近郊大羊坊、大屯叶硒含量仅 0.1PPm 左右，颐和园青龙桥为 0.27PPm，地坛公园则上升至 0.39PPm，再至北海公园叶硒含量升至 0.7PPm 以上；

（3）城区内叶硒含量区域分异比较明显。总的来说是居民区、厂区和交通稠密区叶硒含量高。如电力所南面不远有一大烟囱，汽车流量大，又是居民密集区，故叶硒含量高达 0.72PPm。中关村原属郊区，因现在人口密集，交通拥挤，故叶硒含量也高达 0.72PPm。还有苹果园地铁站、北海也都是污染严重区。与此相反的是，天安门广场附近虽处在城市中心，但因四周开阔，公路宽敞，又无释放污染物的工厂和居民区，故叶硒含量仅为 0.3PPm 左右。玉渊潭、紫竹园、日坛等公园内，空气相对清洁些，叶硒含量为 0.3PPm 左右；

（4）一些远离城区但工业生产活动相对频繁的地方，也有较高的硒含量。如任丘至北京一线及玉田至北京一线，车流量大，城镇较密集，沿线叶硒含量在 0.2~0.4PPm 间；

（5）即使在很小的区域内，叶硒含量也可产生很大差异。如香山植物园内、外和天坛公园内、外叶硒含量的差异，都反映出越靠近公路，叶硒含量越高的结论；

（6）叶氟含量有与叶硒类似的规律，但远不如叶硒所反映的规律那样稳定和清楚。叶碘

表 4 新疆部分地区植物老叶硒含量 (PPm)  
Old leaves Selenium content of poplar in Xinjiang (PPm)

采 样 地 点	采 样 时 间	植 物 名 称	Se
新疆 131 团 13 连	84 年 9 月 21 日	杨 树	0.202
乌苏塔布勒特牧场	9.28	杨 树	0.015
乌苏塔布勒特牧场	9.28	柳 树	0.126
131 团酒厂	9.21	杨 树	0.203
131 团酒厂	9.21	柳 树	0.367
农七师 125 团团部	9.20	杨 树	0.475
农四师 82 团团部	9.27	杨 树	0.154
农四师 82 团团部	9.27	杨 树	0.070
农四师 82 团团部	9.27	杨 树	0.043
吐鲁番五道林坎儿井	10.3	杨 树	0.170
吐鲁番五道林坎儿井	10.3	杨 树	0.100

的城郊分异就更不明显了。这进一步说明了用叶硒反映大气环境质量的可靠性和可取性:

(7) 二个海滨地区的叶硒含量都不高(0.18PPm), 但叶氟、叶碘含量却都很高, 特别是叶碘含量为表3中所有叶碘含量的最高值, 反映出海滨地区环境中较高的碘和氟, 却没有很高的硒, 这和我们研究降水硒、碘、氟时得到的规律是一致的<sup>(4)</sup>。

为使大家对植物老叶硒含量有更多的了解, 下面再将我们工作中测试到的有关数据汇编成表, 并作如下几点注解:

表5 云南昆明磷肥厂下风向窿缘桉老叶硒与距厂距离的关系  
Old leaves selenium content of Protruding eucalyptus (*Eucalypnus exserta*)  
in the vicinity of Phosphate Fertilizer Factory

(m)	200	450	1000	2000
Se (PPm)	0.505	0.332	0.119	0.039

新疆地处我国西北正常硒含量带, 土壤硒含量的几何平均值为0.19PPm<sup>(8)</sup>, 和我们在北京测得的土壤硒含量十分接近。由于表4中的样品来源地空气比较清洁, 所以其老叶硒未出现北京老叶硒那样的累积效应, 从另一个侧面证实了老叶硒的高累积主要源于大气而非土壤。

表5样品取自磷肥厂下风向近距离内的窿缘桉(*Eucalyptus exserta*)老叶, 周围均为冲积平原, 地势平坦, 土壤硒含量是基本一致的。它和表6均表明, 不仅加杨老叶可较好地反映大气环境质量状况, 窿缘桉、柳等其它植物老叶硒含量也能较好地反映大气环境质量状况。

根据以上分析, 可以初步得出以下规律:

1. 加杨叶出二十天内, 叶硒含量显著下降, 随后二个月内, 叶硒维持在一个较稳定水平。以后叶硒含量逐渐升高, 但污染点上升幅度明显大于清洁点。

2. 大气清洁地区, 加杨叶硒含量一般可累积到0.02~0.2PPm, 柳叶硒含量0.05~0.2PPm。而在污染区, 加杨叶硒最终可累积达0.8PPm, 柳叶硒可累积达1PPm。

3. 加杨茎硒含量总小于叶硒含量, 且在不同时期保持相对稳定性, 其值为0.01~

表6 北京市部分地区柳树老叶硒含量  
(PPm)

Old leaves selenium content of willow  
(*Salix sp.*) in Beijing (PPm)

采 样 地 点	Se
中山公园内	0.351
北海公园内	0.068
日坛公园内	0.538
玉渊潭公园内	0.296
动物园公园内	0.928
玉泉路研究生院	0.077
清华大学内	0.164
清华大学西门外公路	0.700
颐和园青龙桥	0.297
朝阳区大羊坊	0.197
怀柔水库东北岸	0.157
密云水库车营子	0.127

0.07PPm。

4. 叶氟、叶碘远不如叶硒含量反映大气质量那样清晰、稳定。

### 参 考 文 献

- 〔1〕 H.J. 勒斯勒等, 卢焕章等译: 地球化学表, 科学出版社, 1985年。
- 〔2〕 中科院地理所环境与地方病组: 我国土壤表层硒含量的地理分布及其与人畜硒反应病的关系, 地理研究, 3 (4) 1984年。
- 〔3〕 王明星等: 北京一月大气气溶胶的化学成分及其谱分析, 大气科学, 10 (1), 1986年。
- 〔4〕 朱发庆等: 我国降水、降尘中硒、碘、氟的研究, 环境科学学报, 8 (4), 428 1988年。
- 〔5〕 Kubota Joe et al.: Selenium in rainwater of the United States and Denmark, Trace substances in environmental health-ix, 1975.
- 〔6〕 全国第三届环境地球化学与健康学术讨论会论文集, 地震出版社, 169 1987年。
- 〔7〕 侯少范等: 人体发育过程中硒的动态及其与大骨节病的关系, 地理学报, 39 (1), 1984年。
- 〔8〕 谭见安等: 环境硒及其复合因子与大骨节病, 环境科学学报, 7 (1), 1987年。

## A STUDY ON TIME-SPACE DIFFERENTIATION OF LEAVE SELENIUM

Zhu Faqing, Tan Jianan, Qu Cuihui

(Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences and  
State Planning Commission of The People's Republic of China)

**Subject terms:** Selenium, Leave selenium, Canadian Poplar

### Abstract

Selenium deficiency in human body is one of the reasons causing Keshan disease and Kaschin-Beck disease. Study on atmospheric affects on leaves is conductive to our overall understanding on transportation of Se in environment-living beings system. Since fuel combustion is the dominant source of Se in air, Se content in air can reflect air quality. Therefore this study is significant for air pollution either.

Canadian Poplar leave samples were collected at both polluted urban and clean suburb in Beijing during period of leave sprout to fall. In addition poplar and salix old-leave samples were collected from sites distributed from coast to inland representing urban, suburb and countryside. For Se content determination samples were analyzed by DAN fluorescence spectrophotometry after digested by  $\text{HNO}_3 - \text{HClO}_4$ .

Conclusions could be drawn as follows.

1. There is a marked drop in leave Se content of poplar in the first twenty days. Afterwards, the Se content remains stable until two months later when Se content rises gradually. There is a much higher increase in polluted urban than in clean suburb.

2. In clean area, leave Se content generally ranges from 0.02-0.2 PPM in *populus canadensis*, 0.05-0.2PPm in salix. In polluted area, leave Se content can rise to 0.8 PPM in *populus Canadensis* and 1 PPM in salix.

3. poplar Se content is always lower in stem than in leaves. The stem Se content ranges from 0.01-0.07PPm.