

## 专论与综述

# 燃煤电站和核电站对环境辐射影响的比较

祝 汉 民

(卫生部工业卫生实验所·北京)

## 一、前 言

煤是最重要的燃料资源。燃煤电厂的煤在燃烧过程中会产生三种类型的污染物:(1)释放出相当数量的气态和颗粒状污染物,例如  $\text{SO}_x$ 、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{CO}_x$ 、碳氢化合物、苯并芘和亚硝基胺等;(2)同时释放出少量化学上有毒的微量元素,例如砷、汞、镉、铅、铬等;(3)还释放出少量的放射性元素,例如铀、钍以及它们的子体等,这会对环境造成污染,对人体健康产生影响。

本文仅考虑燃煤电厂所释放的放射性物质对周围环境所造成的影响,主要是飞灰和烟囱气,不考虑固体废物所造成的危害。

## 二、煤中所含有的放射性核素

燃煤电厂所用的煤,一般均含有少量铀、钍及镭系和它们的子体。煤在燃烧过程中会释放出某些放射性核素到大气中,尽管量很少,但由于燃煤量大,总释放量还是相当可观。例如在美国,仅 1974 年从燃煤中所释放的铀,估计就有 1400 多吨<sup>[1]</sup>。

不同产地的煤中所含有的铀、钍和镭系的含量是不同的;相互之间有很大差别,有时候甚至达几个数量级。平均含量大约在几个 ppm 到几百个 ppm 之间,最高可达 1000ppm 以上。

表 1 列出了不同的研究者所得到的煤中

铀、钍的元素和放射性浓度,以及  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{210}\text{Po}$  和  $^{226}\text{Ra}$  的活性。大多数研究者认为,煤中的铀、钍和镭系处于长期平衡状态(除了氧、氢之外,因为它们会从中逃逸出来)。在某些情况下也包括  $^{210}\text{Pb}$  和  $^{210}\text{Po}$ 。而近来有些研究人员不同意上述观点,例如 Papastefanou 等<sup>[20]</sup>发现,希腊的褐煤放射性就没有平衡。

## 三、灰中所含有的放射性核素

本文对灰的不同部分均给予一个确切的定义,即:灰分是指锅炉烟囱气体中尘埃负载的无机物质;底灰是指在锅炉炉壁上生成的一层灰样;滤灰是从尘埃收集器的烟囱气体中分离出来的灰分;飞灰是经过烟囱释放到大气中的灰部分,从放射卫生学观点来看,这是最感兴趣的部分。

Coles 等<sup>[21]</sup>分析了大型燃煤电厂飞灰样品中的各种微量元素,结论是煤中铀、钍含量各为 2.1ppm 和 6.2ppm,煤的含灰量一般约为 23%,因此煤中的无机物质铀和钍的浓度大约是 9ppm 和 27ppm。

表 2 列出了某些放射性核素在灰的不同部分中的浓度。从表中可以看到,浓度的变化还是较大的。有些学者例如 Furr<sup>[22]</sup>、Smith<sup>[16]</sup> 等想探讨灰中放射性核素含量和不同灰,不同煤之间的关系,结果发现,它们相互之间并无明显关系。

表 1 煤中放射性核素及放射性元素的含量

放射性元素或核素	煤中的浓度	煤的类型和来源	文 献
铀 (ppm)	0.4—2.5	阿巴拉契亚煤	[2]
	0.5—2.1	—	[3]
	1 (平均值)	来自加拿大、日本、中国等煤	[4]
	1.4	NBS 参考煤	[3]
	1.9	美国东部、西部烟煤	[5]
	1.7—3.3	美国伊利诺斯、肯塔基煤	[2]
	10	美国西部地区煤	[6]
	25	美国南得克萨斯褐煤	[7]
	0.8—39	—	[8]
	0.2—43	烟煤	[9]
	10—140	美国宾夕法尼亚煤	[10]
	8.8—120	中国某地煤	[11]
	20—1200	西班牙褐煤	[12]
	~1800	美国北达科他煤	[7]
	<sup>238</sup> U(Bq/g)	0.01—0.03	英国煤
0.02—0.04		西德煤	[14]
0.02—0.14		波兰煤	[13]
0.02—0.16		美国煤	[5]
钍 (ppm)	0.25	美国桑地那褐煤	[15]
	0.3—3.6	美国阿巴拉契亚煤	[2]
	2	—	[16]
	3	来自加拿大、中国、日本 28 种煤	[4]
	3.2	NBS 参考煤	[3]
	5	美国东、西部烟煤	[5]
	40	美国南德克萨斯褐煤	[7]
	2.2—47	美国阿巴拉契亚煤	[17]
	2.2—77	烟煤	[9]
	68—79	美国南卡罗来那、佐治亚煤	[18]
<sup>232</sup> Th(Bq/g)	0.002—0.02	英国煤	[13]
	0.007—0.02	西德煤	[14]
	0.007—0.02	美国煤	[5]
	0.007—0.1	波兰煤	[13]
	0.06	美国西部煤	[9]
<sup>226</sup> Ra	0.01—0.02	西德煤	[14]
	0.02—0.08	印度煤	[19]
	0.1—2.6	希腊煤	[20]
<sup>210</sup> Pb	0.01—0.03	西德煤	[14]
<sup>210</sup> Po	0.01—0.03	西德煤	[14]

表 2 灰的不同部分中放射性元素和放射性核素的含量

放射性元素或核素	浓度	灰的类型	文献	
铀 (ppm)	4.6—8.4	底灰	[21]	
	5.6—11	滤灰	[21]	
	16—36	飞灰	[21]	
	12	NBS 参考灰	[23]	
	1—14	底灰	[24]	
	15—100	滤灰	[24]	
	7—20	飞灰	[24]	
	14.9—16.5	底灰	[25]	
	20—30	滤灰	[25]	
	17—95	飞灰	[25]	
	<sup>238</sup> U (Bq/g)	0.05—0.1	底灰	[21]
		0.07—0.1	滤灰	[21]
		0.2—0.4	飞灰	[21]
0.1—0.3		滤灰	[11]	
0.2—1		飞灰	[11]	
0.3—0.7		飞灰	[26]	
钍 (ppm)		3—20	底灰	[24]
	10—23	滤灰	[24]	
	7	飞灰	[24]	
	24.8	NBS 参考灰	[23]	
	15—20	底灰	[25]	
	20—22	滤灰	[25]	
	11—16	飞灰	[25]	
	14—22	底灰	[21]	
	15—22	滤灰	[21]	
	25—38	飞灰	[21]	
<sup>232</sup> Th (Bq/g)	0.05—0.08	底灰	[21]	
	0.06—0.09	滤灰	[21]	
	0.1	飞灰	[21]	
	0.1	飞灰	[13]	
<sup>232</sup> Th (Bq/g)	0.04—0.1	飞灰	[13]	
<sup>226</sup> Ra (Bq/g)	0.02—0.05	飞灰	[13]	
	0.2—0.5	飞灰	[20]	
<sup>210</sup> Po (Bq/g)	0.3—5.5	飞灰	[13]	
<sup>210</sup> Pb (Bq/g)	0.02—0.03	底灰	[21]	
	0.05—0.1	滤灰	[21]	
	0.2—0.6	飞灰	[21]	
	0.2—3	飞灰	[13]	

#### 四、放射性核素在飞灰中的富集

正如许多研究人员所指出的,煤在电厂的锅炉中燃烧时,某些放射性核素会在灰的某一部分中被富集,每单位质量中放射性核素的浓度,在小颗粒中要比在大颗粒中为高。

某个元素在某一材料 A 的浓度比上另一种材料 B 的浓度,称为元素在 A 和 B 比较时的贫化因子或富集因子。

表 3 列出了燃煤电厂灰的不同部分中,铅-210,铀和钍的贫化因子和富集因子,它们通常和煤的种类有关,这些数据是 Kaakinen 等<sup>[27]</sup>和 Klein 等<sup>[28]</sup>根据实地测到的结果进行计算而得来的。从表可以看到,上述元素,除了钍之外,在底灰和机械收集器的灰里有被贫化的趋势,而在静电收集器和飞灰中则被富集。

表 4 列出了对于不同直径的颗粒,各核素富集因子的变化。钍在各种直径的颗粒中,几乎没有被富集,而 <sup>238</sup>U, <sup>226</sup>Ra, <sup>210</sup>Pb 等核素在直径小的颗粒中明显地被富集。

表 3 铅-210、钍和铀在燃煤电厂灰中的贫化因子或富集因子<sup>[27,28]</sup>

放射性元素或核素	放射性核素在灰/煤*浓度中的比值			
	底灰	机械收集器的灰	静电收集器的灰	飞灰
铅-210	0.2	0.6	2.1	3.5
钍	0.8	0.8	1.0	1.3
铀	0.7	未得到	1.5	未测量

\* 指煤中的无机组份

表 4 逃逸飞灰的直径和放射性核素富集因子之间的关系<sup>[13]</sup>

颗粒直径* (μm)	富集因子**			
	<sup>238</sup> U	<sup>228</sup> Th	<sup>226</sup> Ra	<sup>210</sup> Pb
2	2.8	1.2	2	4.8
10	1.6	1.1	1.3	2.1
17	1.3	1.1	1.1	1.4

\* 粒子直径小于 10 μm 的,均作为可吸入的粒子来考虑

\*\* 仅相对于煤的无机物质来考虑

根据上面的介绍,我们可以得到如下的结论:在灰的不同部分中,放射性核素的富集因子可有很大变化,从这些变化中也可以看到,不同来源的煤,不同成份,在各种灰中

的特殊分布均影响各个核素的富集因子，同时还受到不同的燃煤系统的影响，不过放射性核素无论是贫化还是富集都遵守下述规律。

1. 放射性元素在底灰和在机械收集器中是贫化的，而在静电收集器，洗涤灰和飞灰中是浓缩的。

2. 放射性核素在飞灰中的富集因子要比在其它的滤灰中为高。

3. 颗粒直径越小，放射性元素的富集因子就越高，这是因为比表面积增大了。

4. 富集因子与元素的种类明显有关。

所有放射性核素，只有钍在飞灰，静电收集器和洗涤灰中的富集因子最低，最高的是铅-210。

### 五、释放到大气中的放射性核素

即使采用有效的收集系统，某些飞灰还是会从燃煤电厂释放到大气中。此外在燃煤电厂的烟囱和贮灰罐中，灰经过长时间的存放后，也会有一些释放到外环境中，Lee 等<sup>[29]</sup>

曾指出，一个年发电量为 100 万千瓦的电厂，在经过三十年运行之后，从灰贮存罐中大约每天可释放出 10 居里的 Rn。

表 5 列出了各类电厂放射性核素的年释放量，全部归一化到 100 万千瓦。这些数值有明显的差别，但可以看出，配备有先进过滤器的燃煤电厂(即所谓新厂)要比老的燃煤电厂所释放的放射性核素低一个数量级。把所有数据进行平均计算之后，估算出煤中的钍含量大约是 1—2ppm，钍含量为 3—5ppm，总释放量是每一个百万千瓦年释放出大约  $7.5 \times 10^5$  到  $1.5 \times 10^6$  Bq<sup>[13,5,30]</sup>。

在评价燃煤电厂所释放的放射性核素对环境的贡献时，还应该考虑它们所给出的“负 Suess”效应<sup>[31]</sup>。由于化石燃料一般年龄长，而 <sup>14</sup>C 的半衰期比较短(5730 年)，所以一般煤中没有 <sup>14</sup>C，这样从燃煤电厂释放出的大量 CO<sub>2</sub>，会稀释大气中天然存在的 <sup>14</sup>C，这样就造成了一种负的放射性释放效果，对一个 100 万千瓦的燃煤电厂，负的发射效果估计是一年  $4 \times 10^{11}$  Bq<sup>[32,33,34]</sup>。

表 5 燃煤电厂飞灰中所含有的放射性核素的年释放量\*

电厂类型**	放射性核素的释放率 (Bq/年)										文献
	<sup>238</sup> U	<sup>226</sup> Ra	<sup>210</sup> Pb	<sup>210</sup> Po	<sup>222</sup> Rn	<sup>232</sup> Th	<sup>228</sup> Ra	<sup>220</sup> Rn	<sup>235</sup> U	<sup>219</sup> Rn	
老厂	$3.0 \times 10^8$	$3.0 \times 10^8$	$3.0 \times 10^8$	$3.0 \times 10^8$	$3.0 \times 10^{10}$	$1.8 \times 10^8$	$1.8 \times 10^8$	$1.5 \times 10^{10}$	$1.2 \times 10^7$	$1.2 \times 10^7$	[2]
	$7.8 \times 10^9$	$7.8 \times 10^9$	$1.6 \times 10^{10}$	$1.6 \times 10^{10}$	$5.3 \times 10^{10}$	$6.7 \times 10^9$	$6.7 \times 10^8$	$4.2 \times 10^{10}$	$3.7 \times 10^8$	$2.3 \times 10^9$	[5]
新厂	$10^9$	$7.8 \times 10^8$	$2.6 \times 10^9$	$2.6 \times 10^9$	$6.3 \times 10^{10}$	$4.4 \times 10^8$	$6.7 \times 10^8$	$5.3 \times 10^{10}$	$5.2 \times 10^7$	$3.0 \times 10^9$	[5]
老厂	$2.3 \times 10^9$		$4.8 \times 10^9$	$4.8 \times 10^9$	$3.2 \times 10^{10}$	$1.7 \times 10^9$		$2.4 \times 10^{10}$			[35]
新厂	$7.0 \times 10^8$	$5.2 \times 10^8$	$1.7 \times 10^9$	$1.7 \times 10^9$	$3.6 \times 10^{10}$	$7.5 \times 10^8$	$3.8 \times 10^8$	$2.7 \times 10^{10}$			[35]
	$1.5 \times 10^9$	$1.5 \times 10^9$	$5.0 \times 10^9$	$5.0 \times 10^9$		$1.5 \times 10^9$	$1.5 \times 10^9$				[13, 30]
新厂	$8.0 \times 10^8$	$8.0 \times 10^8$	$8.0 \times 10^9$	$8.0 \times 10^9$		$4.0 \times 10^8$	$4.0 \times 10^8$				[36]
	$<2.2 \times 10^8$	$<2.2 \times 10^8$				$<2.2 \times 10^8$	$<2.2 \times 10^8$				[19]
	$7.6 \times 10^7$		$3.7 \times 10^9$	$3.7 \times 10^9$		$8.1 \times 10^7$	$8.1 \times 10^7$				[34]
					$10^8$	$10^8$					[4]

\* 全部归一化到 100 万千瓦

\*\* 老厂大约释放出 10% 的灰到大气中新厂配备有高级设施，其中大约释放出 1% 的灰到大气中

### 六、燃煤电厂周围最大的全身辐射剂量

表 6 列出了距离燃煤电站 500m 处的个

人最大全身辐射剂量，是由不同的研究者计算的。全部数据均归一化到 100 万千瓦的电站，并采用国际放射防护委员会所推荐的有效剂量当量来表示。由于各燃煤电站所采用

的煤来源不同,以及烟囱高度的差别,所列数据有一定的差异,个别值甚至差别较大,数据中同时考虑了“Suess 效应”。

表 6 距 100 万千瓦燃煤电厂 500m 处的  
个人最大全身剂量 (mrem/a)

煤中放射性核素含量 (ppm)		烟 囱 高度 (m)	最大的 个人剂量	文 献
U	Th			
1	2	50—300	4	[2]
5 25	7 40	200	10 100	[9]
1.9	5	97 185	40 4	[8]
		500	10	[32]
1.2	3.1	150	8 1	[35]
8.8—120			100	[11]

### 七、核电站气载排出物的放射性对周围人群的辐照剂量

上面主要介绍了燃煤电站气态排出物中的放射性对周围人群的照射剂量。下面讨论一个 100 万千瓦的压水堆核电站所释放的气态放射性对周围环境所造成的辐照剂量。表 7 是一个标准 100 万千瓦压水堆一年所释放的气载放射性<sup>[2]</sup>。

表 7 100 万千瓦压水堆所释放的气载放射性的平均年释放量<sup>[2]</sup>

放射性核素	年释放量 (Ci/a)	放射性核素	年释放量 (Ci/a)
<sup>41</sup> Ar	25	<sup>133</sup> Xe	1200
<sup>133m</sup> Kr	1	<sup>133m</sup> Xe	<1
<sup>85m</sup> Kr	16	<sup>135</sup> Xe	86
<sup>89</sup> Kr	470	<sup>138</sup> Xe	<1
<sup>87</sup> Kr	3	<sup>131</sup> I	0.025
<sup>88</sup> Kr	23	<sup>135</sup> I	0.023
<sup>131m</sup> Xe	82	<sup>14</sup> C	8
<sup>133m</sup> Xe	120	<sup>3</sup> H	1100

从表 7 我们可以看到,压水堆核电站所释放的放射性主要是惰性放射性气体 <sup>85</sup>Kr 和 <sup>133</sup>Xe。根据美国核管理委员会所推荐的计算模式,能够计算出在核电站周围 500m 处的个人剂量最大值大约为 1.9mrem/a,这数据比燃煤电站对周围环境所造成的个人剂量负担值要小。

### 八、燃煤电站和核电站对环境辐射危险度的比较

已经有不少研究者研究了核电站和燃煤电站对环境影响的危险度,并且作了比较,但结论不尽相同,甚至相差较大。除了各作者的出发点不同,所用的方法不同,以及煤的种类不同之外,还同燃煤电站是否采取各种措施密切相关(即是否采用高级的滤灰过滤器,把烟囱提高到何种高度等),不过从表 8 可以看到,随着时间的推移,逐渐认为燃煤电站的危险性在变小,表 8 列出了燃煤电站对核电站的辐射危险度比值发展的历史趋势。

从表 8 可以看到,近年来,关于燃煤电站和核电站之间危险度的差别已不大,发展趋势是二者相当,甚至有人认为煤电站比核电站对环境的放射影响要小。这主要是近若干年来,许多燃煤电站采用高级的滤灰过滤装置,加上把烟囱高度提高了,使燃煤电站释放到环境中的放射性核素大大减少。例如日本学者 Nakaoka<sup>[43]</sup> 最近报道,他们测得的日本某些燃煤电站附近的最大放射性浓度点上的剂量水平是 0.01mrem/a,这数值仅仅是日本天然放射性本底值的 1/10<sup>3</sup>。又例如波兰在采用褐煤的燃煤电厂,其周围的辐照剂量值比德国学者<sup>[44]</sup>报道的数值要高 50 倍,尽管二者所用煤中所含的铀量大致相同,但由于波兰燃煤电厂所采用的滤灰过滤器效率低,大量放射性物质释放到周围环境中。所以提高滤灰效率是降低居民辐射剂量的一个很重要手段。以色列人 Jacob<sup>[4,5]</sup> 最近通过敏感度分析法,分析了煤电站的危险度之后指出,只

表 8 燃煤电站和核电站对环境放射危险度比值的发展趋势

年 份	一个 100 万千瓦电站 煤对环境危险度 核对环境危险度	(对煤电站评价) (对核电站评价) 之 比 较	作 者	文 献
1964	$> 5 \times 10^6$	非常差	Eisenbud	[37]
1967	$\sim 2 \times 10^3$	比较差	Terril	[38]
1971	对 PWR $10^2$ 对 BWR $2.5 \times 10^{-2}$	差 好	Hull	[39]
1974	$\sim 1$	二者相当	Gesell	[40]
1974	对 PWR $5 \times 10^{-1}$ 对 BWR $7.7 \times 10^{-3}$	好 相当好	Hull	[41]
1978	1.6	基本相当	Mcbride	[42]
1980	$> 1$	二者相当	Papastefanou	[26]
1980	0.6—2.0; 0.06—0.2	比较好	Okamoto	[33]

要选择好适当的煤所用的锅炉，高级的滤灰过滤装置，相应提高排烟烟囱的高度以及合适的煤电站厂址，燃煤电厂的放射影响能够降低到最低限度。

### 九、结 论

通过比较燃煤电站和核电站对环境的放射影响，我们认为，单从二种类型电站所排出的气载放射性来考虑它们对环境所造成的辐射影响有点简单化，应该从更广义的角度来比较才合理。对煤电站而言要考虑煤的开采，运输，燃煤电站中所释放的其他有害物质对环境的影响，直至废物利用。而对核电站则要从核燃料循环角度，以及它们的潜在危害这方面来考虑，只有综合考虑才比较合理。

### 参 考 文 献

[ 1 ] Surprenant, N. et al., *USEPA Report*, No 600/2-76-046a 1. (1976).  
 [ 2 ] Mcbride, J. P. et al., O.R.N.L.-5315 (1977).  
 [ 3 ] Ondov, J. M. et al., *Environ Sci Technol.*, 13(6), 598(1979).  
 [ 4 ] Nakaoka, A. et al., *Health Phys.*, 47(2), 407 (1984).  
 [ 5 ] US EPA (U. S. Environmental Protection Agency) Report No. 520/7-79-006 (1979).  
 [ 6 ] Swanson, V. E. *In Southwest Energy Study, Report of the Coal Resources Work Group*, Appendix J. Part II. US Geological Survey. (1972).  
 [ 7 ] *Nucleonics Week.*, 20(10), 1(1979).

[ 8 ] Koester, P. A. et al., *USEPA Report* 600/7-78-185, (1978).  
 [ 9 ] Cooper, H. B. H. et al., *In the 71st Annual Meeting of the Air Pollution Control Assoc.* (June 25—30, 1978) Houston, Texas.  
 [ 10 ] Coldwell, R. D. et al., *Environmental Surveillance in the Vicinity of Nuclear Facilities*, Thomas Publ, 438—45 (1970).  
 [ 11 ] 潘英杰, 环境保护, (4), 10(1984).  
 [ 12 ] Valkovic, V., *Trace Element in Coal*, CRC Press, (1983).  
 [ 13 ] UNSCEAR., *Ionizing Radiation: Sources and Biological Effects of Atomic Radiation*, New York, United Nations, (1982).  
 [ 14 ] Jacobi, W. H. et al., *In Health Impacts of Different Sources of Energy*, Vienna, IAEA, 215—27 (1982).  
 [ 15 ] Martinu, G. G., *CEC Report* V/2408/80, (1980).  
 [ 16 ] Smith, R. D., *Prog Energy Combust Sci*, 6, 53—119 (1980).  
 [ 17 ] Beck, H. L. et al., *Conj-780422*, 2, (1980).  
 [ 18 ] Styron, C. E. et al., *MLM-2514*, (1979).  
 [ 19 ] Mishra, U. C. *Radiation-Risk-Protection*, 1, 537—40 (1984).  
 [ 20 ] Papastefanou, C. et al., *Health Phys.*, 46(2), 293 (1984).  
 [ 21 ] Coles, D. G. et al., *Environ Sci Technol.*, 11(5), 442(1977).  
 [ 22 ] Furr, A. K. et al., *Environ Sci Technol.*, 12(12), 1194(1978).  
 [ 23 ] Ondov, J. M. et al., *Anal Chem.*, 47(7), 1102 (1975).  
 [ 24 ] Ray, S. S. et al., *US EPA Report* 600/7-77-010, (1977).  
 [ 25 ] Lyon, W. S. *CRC Press* Clereland, Ohio, (1977).  
 [ 26 ] Papastefanou, C. et al., *Proc. of 5th Int Congress of IRPA Jerusalem* 9-14 March, 2, 161—64 (1980).

- [27] Kaakinen, J. W. et al., *Environ Sci Technol.*, 9(9), 862(1975).
- [28] Klein, D. H. et al., *Environ Sci Technol.*, 9(9), 973(1975).
- [29] Lee, H. et al., *US EPA Report*, 600/7-77-082, (1977).
- [30] IAEA, *Nuclear Power the Environment and Man*, 67, Vienna, (1982).
- [31] Suess, H. E. *Science*, 122, 415 (1955).
- [32] Camplin, W. C. et al., *Proc of 5th Int Congress of IRPA*, Jerusalem, 9—14, March, 3, 153—6 (1980).
- [33] Okamoto, K., *Proc of 5th Int Congress of IRPA*, Jerusalem, 9—14, March, 3, 157—160 (1980).
- [34] De Santis, V. et al., *Health Phys.*, 46(1), 73(1984).
- [35] Teknekron research Inc. US EPA Contract No. 68-01-5142 (1981).
- [36] Corbett, J. O., *Rad Prot Dosimetry*, 4(1), 5(1983).
- [37] Eisenbud, M. et al., *Science* 144, 288—289 (1964).
- [38] Terrill, J. G., *Ind Med Surg.*, 36(6), 412(1967).
- [39] Hull, A. P. et al., *Nuclear Safety*, 12(3), 185 (1971).
- [40] Gesell, T. F. et al., *Health Phys.*, 28(4), 361 (1975).
- [41] Hull, A. P. et al., *Nuclear News*, 17(5), 51(1974).
- [42] McBride, J. P. et al., *Science* 202, 1045—1047 (1978).
- [43] Nakaoka, A. et al., *Health Phys.*, 48(1), 215 (1985).
- [44] Niewiadomski, T. et al., *J. Environ Radioactivity*, 3(4), 273(1986).
- [45] Jacob, T. *Health Phys.*, 50(1), 61(1986).

(收稿日期: 1987 年 10 月 15 日)

## 空气污染的植物监测

高 绪 评

(江苏省植物研究所)

空气污染能引起植物多种反应,利用这种反应可以监测和评价环境污染。植物对环境污染的这种指示或报警作用,早在 100 多年前就已被人们发现。Gridon (1859) 和 Nylander (1866) 首先注意到烟雾和气体的发散造成城市附近地衣数量的减少<sup>[24]</sup>。人们还发现一些工厂周围的植物出现特殊的伤害现象,后来研究才知道与烟囱冒出的 SO<sub>2</sub> 等烟气有关。1942 年在美国洛杉矶,发现一些植物叶片出现了不同于一般污染物如 SO<sub>2</sub>、HF 等所引起的伤害症状,经过分析研究,才知道是光化学烟雾造成的<sup>[41]</sup>。

在我国,开展植物对气体污染反应的研究较晚。七十年代初,南京、上海等地发生雪松等绿化树木死亡或针叶枯黄现象,当时并不知道是 HF 或 SO<sub>2</sub> 危害,后来通过调查研究及人工熏气试验等方法,才揭开树木死亡之谜。八十年代以来,有关植物监测大气污染的研究及植物在环境质量评价工作中的应用都有了较快的发展,常用的方法也较多,归

纳起来,主要有以下几类。

### 一、指示植物法

有些植物对有害气体反应十分敏感,当人还没有感觉时,植物就已表现受害症状。据国外研究,人觉察 SO<sub>2</sub> 气体的浓度为 1—5 ppm,而敏感植物紫花苜蓿在 0.3—0.5 ppm 时就会产生明显的症状。有机氟气体没有颜色和气味,人很难闻到,据江苏植物所试验,把唐菖蒲和金荞麦放到有机氟逸散的工厂进行监测试验,第二天叶片就有症状出现<sup>[4]</sup>。国外早在五、六十年代就利用指示植物监测污染。下面扼要介绍利用指示植物监测污染的一些方法。

1. 生长量法 利用植物在污染和清洁环境下生长量的差异来监测和评价环境污染状况。指数越大,说明空气污染越重。

$$IA = \frac{W_0}{W_m}$$

式中,IA 为影响指数;W<sub>0</sub> 为清洁点植物生长