

苯并(a)芘污染水稻模拟实验研究*

高拯民 熊先哲 戴同顺 梁 萍

(中国科学院林业土壤研究所)

苯并(a)芘(简称 BaP)是一种具有强致癌性的多环芳烃化合物,在环境中分布很广。^[1-4]

在国外,以高等植物为研究对象,不同作者通过对 BaP 污染食物链的研究各有所强调。但综合起来分析,可以认为:植物体内 BaP 可能是“多源”性的,其内源来自植物自身的合成,是植物代谢的产物;其外源则是来自水—土壤以及大气污染所作的“贡献”^[5-8]。

根据 BaP 的基本理化性质以及植物根系从土壤中吸收 BaP 的生理特征加以判断:除了生物合成因素外,植物株体,特别籽实部分,长时间直接暴露在大气污染的环境中,因此大气污染对植物地上部分的“贡献”,在理论上要比水—土壤的“贡献”大得多。这可以通过科学实验加以验证。

BaP 在环境中的特殊作用,在不少情况下被当作是一个“限制因素”。由于测试技术方面的困难以及其他原因,目前还只是停留在积累数据的阶段,BaP 的来源尚不清楚。目前,以我国主要栽培作物之一的水稻为对象,定量地比较准确地测定并区分植物体内各主要部位 BaP 的来源,取得 BaP 的自然背景值。在此基础上评价污染环境各要素对 BaP 的“贡献”。这就成为当前环境生物科学研究中一项迫切任务。为了达到此目的,必须采用比较严格的控制大气飘尘污染的模拟实验,并且要求室内外其它工作相配合。

一、实验设计、处理与技术措施

(一) 控制大气污染的模拟实验

温室(简称温室)

1. 处理

砂培

- | | |
|-----------------------|-----|
| (1) 未加 BaP | 8 盆 |
| (2) 加 BaP 50 ppb × 2 | 8 盆 |
| (3) 加 BaP 100 ppb × 2 | 8 盆 |
| (4) 加 BaP 500 ppb × 2 | 8 盆 |

土培

- | | |
|------------|-----|
| (5) 未加 BaP | 8 盆 |
|------------|-----|

土培土壤采自林土所树木园,为草甸棕壤,原土含 BaP 170 ppb。

2. 技术措施

模拟实验温室系玻璃结构,面积为 3.9×5.2 米²,高度:西侧 2.2 米,东侧 5.3 米,室内配有补充光照高压汞灯 200 瓦 × 4。砂培用纯石英砂,粒径 < 0.75 毫米,经酸碱处理洗净后装盆,每盆 13.5 公斤。用普良尼施尼科夫混合培养液。砂培未加 BaP 的处理,水稻收获后砂中 BaP 为 0.27 ppb,接近荧光分光光度计的检出极限。

砂培加 BaP 用苯溶后滴加,共二次,第

* 本实验曾得到姚归耕教授以及李芷政、吴维中、谢重阁、王汝楠等同志指导协助,谨志谢意。

参加 BaP 分析工作还有陈秋菊同志;电镜扫描照相由张兴达同志协助完成;图清绘由方汝桂同志协助完成。

一次在插秧前,滴加后用1厘米厚石英砂复盖,第二次在分蘖期加于表面。

配制营养液和灌溉用水为经过树脂处理的自来水。为防止温室内夏季温度过高,以及调节湿度和洗涤空气,配有喷水装置,在温室内二米高处,等距平行安装三根管道,其上共装30个喷头,使用时喷水量为2.5—3.0吨/小时。为防止水直接喷到水稻植株,在水稻上方罩以房架,大小为 $3.2 \times 1.9 \times 1.9 \text{ m}^3$,在顶部镶嵌玻璃。

室内通风采用过滤空气,过滤器为GB-3型高效过滤器和M-1型初级过滤器,两者串联使用。GB-3型标准风量为1500立方米/小时,入口处风速为0.8—1.0米/秒,对0.3—0.6微米的大气飘尘的计数效率可达99.91%以上,对油雾效率可达99.91—99.9999%以上。M-1型标准风量为2000立方米/小时,对尘埃计重效率为70%。

3. 技术效果

模拟实验的技术关键在于消除大气飘尘BaP对水稻的污染,采用扫描电镜及环境分析化学等手段,通过比较,可以鉴别模拟温室的技术效果。

(1) 水稻整个生育期间,在温室内空气采样八次,扫描电镜发现滤膜十分洁净,未见

有飘尘沾污(见图1电镜照片)而在没有控制大气污染的温室外边,进行空气对照采样,发现在滤膜上沾污了不同粒径的飘尘(见图2电镜照片)。

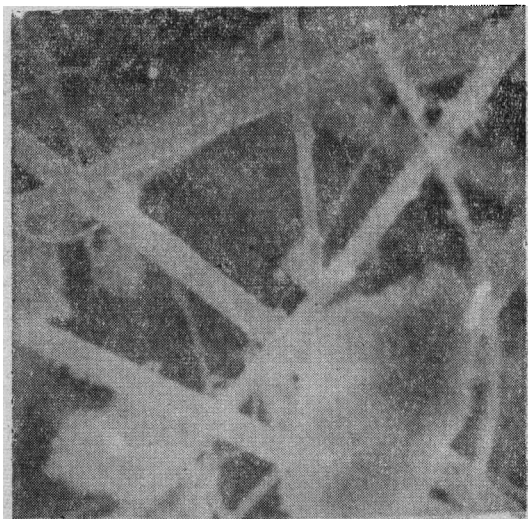


图2 非控制大气污染防鸟网空气采样滤膜 $\times 3000$

(2) 水稻成熟后,对模拟实验室内稻谷表面进行电镜扫描,稻谷表面结构纹理清晰可见,高倍放大时出现细胞凹陷部位的“盆状”结构(图3电镜照片)。而室外的稻谷表面污染严重,“盆状”结构几乎全被飘尘遮盖(图4电镜照片)。

(3) 用环己烷漂洗稻谷,在脂肪抽出器中回流三次,时间为一个小时,模拟实验室内

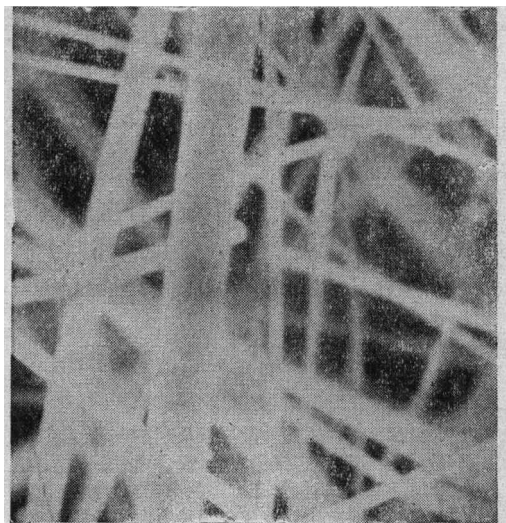


图1 控制大污染模拟室内空气采样滤膜 $\times 3000$



图3 控制大气污染模拟室内培育稻谷 $\times 10000$

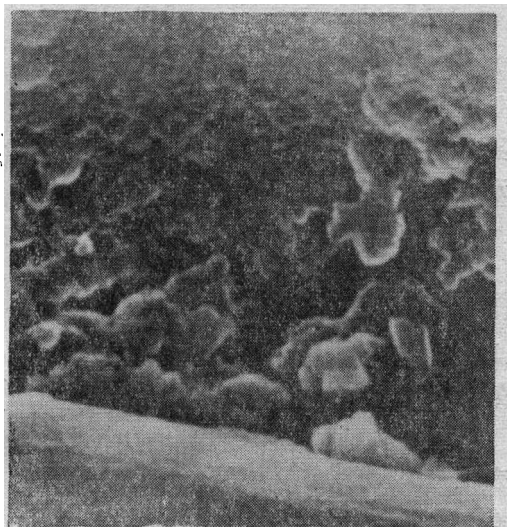


图4 非控制大气污染防鸟网内培育稻谷 $\times 10000$
稻谷漂洗液中未检出 BaP, 而室外对照稻谷漂洗液中明显检出 BaP.

综上所述, 由于采取了各种适当技术措施, 既提供了水稻正常生长、发育、结实的条件, 同时又真正严格控制了大气污染, 即取得了预定的技术效果。

(二) 非控制大气污染的室外 (简称室外或防鸟网)

(1) 砂培 未加 BaP 8 盆

盆上复以木盖, 木盖上留有直径 5 厘米园孔三个, 水稻由此长出。木盖的作用是防止大气降尘对石英砂的污染。所用石英砂同温室石英砂。

(2) 土培 未加 BaP 8 盆

所用土壤同温室内土培处理。

温室和室外水稻秧苗, 是在温室内砂培育成, 水稻品种“丰锦”。

二、模拟实验结果分析

(一) 温室模拟实验

1. 在控制大气污染条件下水稻 BaP 含量的背景值: 在温室的具体模拟条件下, 栽培水稻的糙米、稻壳、茎叶的 BaP 含量均处于较低水平, 见表 1。

表 1 中砂培未加 BaP 的处理, 反映水稻各部位 BaP 含量的背景值, 主要来源于生物合成。

各处理盆钵中 BaP 含量, 在水稻收获后测定, 较施入时有大幅度下降, 可计算经过整个水稻生育期后盆钵中 BaP 的净化率, 见表 2。

从表 2 可知, 砂培未加 BaP 这一处理,

表 1 空气过滤温室盆栽水稻 BaP 含量 (ppb)

处 理	糙 米		稻 壳		茎 叶		根 系	
	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ
砂培未加 BaP	0.1	0.01	1.0	0.41	3.6	0.42	13.1	1.63
土培(树木园土)	0.1	0.04	1.9	0.23	4.1	0.28	50.4	1.48
砂培二次加 BaP 50 ppb	0.3	0.01	2.6	0.07	4.8	0.80	1704	291
砂培二次加 BaP 100 ppb	0.2	0.06	1.0	0.75	4.6	0	3679	110
砂培二次加 BaP 500 ppb	0.1	0.04	2.8	0.62	6.9	0.34	12055	664

表 2 温室盆栽水稻收获后砂中和土壤中 BaP 含量 (ppb)

处 理	砂和土中 BaP 含量		净化率(%)
	$\bar{x}$	σ	
砂培(未加 BaP)	0.27	0.19	
土培(树木园土)	89.76	4.38	47
砂培(二次加 BaP 50ppb)	10.83	2.19	89
砂培(二次加 BaP 100ppb)	14.86	0.86	90
砂培(二次加 BaP 500ppb)	216.65	8.75	78.3

BaP 含量为 0.27 ± 0.19 ppb. 该实验数据是在对大气、水、土壤等污染源进行控制的条件下获得的,可被认为是“背景值”. 水稻各部位 BaP 含量的“背景值”是:糙米 0.1 ppb,稻壳 1.0 ppb,茎叶 3.6 ppb,根系 13.1 ppb.

2. 温室里不同处理的结果分析

(1) 糙米

温室中五个不同处理,糙米 BaP 含量如表 1 所示,都接近于荧光分光光度计的检出极限 0.18 ppb. 因此各处理糙米 BaP 含量在统计学上没有显著性差异.

(2) 根系

砂培和土培中的 BaP 对于植物根系的效应有很大差别. 这是因为土壤中 BaP 紧密束缚于土壤胶体,而石英砂对 BaP 的吸附力很弱,以上特点直接影响根系 BaP 含量水平. 从表 1 可见,砂培二次加 BaP 50ppb, 100ppb, 500 ppb 三个处理,根系 BaP 含量分别达到 1704 ± 291 ppb, 3679 ± 110 ppb, 12055 ± 664 ppb. 然而尽管根系 BaP 含量如此之高,但就 BaP 的绝对含量而言,只不过占施入总量的 2—3%.

根部 BaP 含量的高水平与地上部分糙米、稻壳、茎叶 BaP 含量的低水平,形成了鲜明的对照. 这一颇为有趣的事实告诉我们: 根系将 BaP 向地上部分的输导是困难的,或者可能由于输导后其中很大部分受到深刻变化,代谢为各种有机酸等化合物,因而籽实中残留极少.

(3) 茎叶

茎叶的 BaP 含量,与砂培未加 BaP 处理比较,直到砂培二次加 500 ppb 这一处理,才有显著性差异.

(4) 稻壳

稻壳 BaP 含量,土培、砂培加 BaP 各个处理与砂培未加 BaP 处理相比较,有一定差异. 总的看来,稻壳 BaP 含量水平很低,变动幅度不大.

(二) 温室模拟实验与室外
实验结果对比分析

室外盆栽场地与模拟温室毗邻,设有防鸟网,对大气污染未加任何控制. 室外两个处理水稻 BaP 含量,如表 3.

室外水稻收获后,盆钵中 BaP 含量见表 4.

综合表 1—4 可见,温室内外对应处理,土壤或砂中 BaP 含量没有显著性差异,根系中 BaP 含量也很接近,但室外水稻比室内水稻 BaP 含量大为增高,其高出的倍数是:糙米 8.5 倍,稻壳 11 倍,茎叶 23 倍.

现将我们实测的模拟温室和室外大气飘尘、降尘及 BaP 的含量列于表 5 中.

从表 5 数据联系到前面介绍的电镜扫描照片以及表 1、3 的实验结果,可以反映出大气飘尘污染的严重性,水稻表面受到飘尘沾污,相应地进行一系列物理、化学吸收、吸附以及生物学的代谢过程,其造成后果,就是水稻各部位 BaP 的积累.

为了形象和直观起见,现将表 1、3 全部结果绘成图 5.

从图 5 二组曲线可以划分出三个“区域”,即:

- A. 生物合成“区域”;
- B. 土壤贡献“区域”;
- C. 大气贡献“区域”.

现以水稻的 BaP “背景值”为基础,砂培

表 3 室外盆栽水稻 BaP 含量 (ppb)

处理	糙 米		稻 壳		茎 叶		根 系	
	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ
土培(树木园土)	1.0	0.13	17.5	4.00	111.1	4.81	52.1	0.07
砂培(未加 BaP)	1.7	0.49	23.3	2.29	185.0	9.69	78.3	0.28

表 4 室外盆栽水稻收获后盆钵中

BaP 含量 (ppb)

处理	土壤和砂中 BaP 含量	
	$\bar{x}$	σ
土培(树木园土)	108.9	29.77
砂培(未加 BaP)	0.24	0.07

二次加入500ppb BaP为土壤污染上限,以林业土壤研究所 125 实验楼外防鸟网大气污染为背景,“背景值”为 1.0. 经过计算水稻各部位 BaP 含量,可以获得一个十分有意义的相对数值基本资料(表 6):

(三) 稻谷有机溶剂漂洗实验结果

为了深入一步研究大气污染对水稻 BaP 含量的影响,我们把实验范围扩大到野外,在辽宁省清水灌溉与污水灌溉的若干典型地区,进行采样,获得不同地区稻谷有机溶剂漂洗实验的

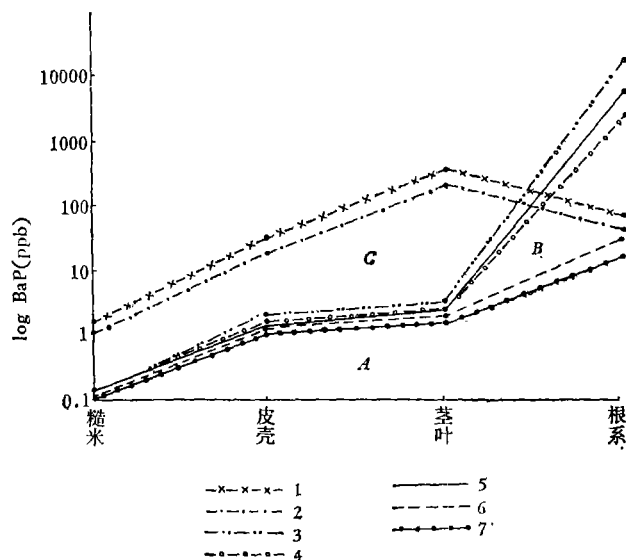


图 5 在控制与非控制大气污染条件下水稻各部位 BaP 含量变化综合比较

1.砂培(未加 BaP) 2.土培(170 ppb) 3. 2×500 ppb 砂培 4. 2×50 ppb 砂培 5. 2×100 ppb 砂培 6. 170 ppb 土培 7.自然本底值(背景值)(1,2 为室外 3—7 为温室)

表 5 温室和室外大气飘尘和降尘情况

地 点	项 目	大 气 飘 尘			大气降尘 BaP 含量 $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot 60 \text{ 天}$
		测定日期	次 数	BaP 含量 $\mu\text{g}/100\text{m}^3$	飘尘重量 $\text{mg}/100\text{m}^3$
温 室	温 室	7.11—9.24	8	未 检 出	1.60
	室 外	7.11—9.24	8	0.91	43.88
					110

表 6 BaP 的相对贡献

水稻部位	BaP 相对浓度比例	生物合成	土壤污染贡献	大气污染贡献
根 系		1.0	962	5.0
茎 叶		1.0	0.9	51
稻 壳		1.0	1.8	22.3
糙 米		1.0	—	8.5

表 7 不同地区稻谷漂洗试验结果

序 号	采样地点	环 境 特 征	漂洗结果 BaP 微克/100 克稻谷
1	清 原	清灌区,有轻度大气污染	0.1200
2	李石三宝屯	污灌区,严重大气污染	0.3038
3	李石飞机场	污灌区,严重大气污染	0.5866
4	兴农大队	污灌区,轻度大气污染	0.1384
5	控制大气污染模拟温室	空气洁净	未检出
6	林土所 125 防鸟网	严重大气污染	0.5876

表 8 水稻漂洗对混合糠 BaP 含量影响 (ppb)

处理 采样地点	漂洗稻谷的混合糠		未漂洗稻谷的混合糠	
	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ
清 原	0.45	0.15	2.38	0.31
三 宝 屯	1.18	0.21	9.85	1.44
李石飞机场	1.68	0.23	11.05	0
兴 农	0.51	0	5.56	0.32

结果 (见表 7)。

在此基础上又进一步研究稻谷混合糠中 BaP 的来源, 分别对稻谷进行有机溶剂漂洗与未漂洗二种处理, 然后加工磨米, 并测定混合糠中 BaP 的含量, 结果见表 8。

由表 8 可见: 由于混合糠有一部分来源于磨碎的稻壳, 漂洗可降低混合糠 BaP 含量。大气污染越严重, 降低幅度就越大。可见, 大气污染程度对水稻混合糠 BaP 含量起主导作用。污灌区三宝屯、李石飞机场混合糠 BaP 含量高, 主要原因就在于此。

三、结 论

(一) 在严格控制水、土壤与大气污染的模拟实验条件下, 水稻各部位仍含有 BaP, 其含量高低 (ppb) 依次为: 根系 (13.1 ± 1.63) >> 茎叶 (3.6 ± 0.42) > 稻壳 (1.0 ± 0.41) >> 糙米 (0.1 ± 0.01), 这是水稻 BaP 的“背景值”

(二) 模拟实验室砂培各种处理, 随着砂培未加 BaP 一直递增至两次加 BaP 500 ppb, 水稻根系 BaP 含量可由 13.1 ppb 相应地增值到 12055 ppb, 变动幅度高达 920 倍。但地上部份稻壳 BaP 含量变动于 1.0—2.8 ppb; 茎叶 BaP 变动于 3.6—6.9 ppb, 说明水稻根系难以将吸收的 BaP 转移到地上部分或转移后绝大部分在代谢过程中被同化或降解了, 因而在籽实中极少积累。

(三) 在本实验范围内, 大气污染与控制大气污染造成水稻 BaP 含量的差异: 糙米 8.5

倍, 稻壳 11 倍, 茎叶 23 倍, 说明大气污染对水稻 BaP 含量做出主要“贡献”。对稻谷表面进行扫描电镜观察以及用有机溶剂对稻谷进行漂洗实验结果, 都进一步证明这一点。

(四) 田间土壤与植物中 BaP 含量是大气、水污染因素与生物因素综合的动态平衡值。就某一个污水灌区而论, 如对污水经过适当处理达到灌溉水质标准, 则通过水—土壤对水稻食物链 BaP 的污染可以不成为“限制因子”。而大气污染, 对于食物链 BaP 的贡献将上升为主要矛盾。因此, 必须及早对大气飘尘 BaP 的污染源进行有效的控制。

主要参考文献

- [1] The Science of the Total Environment, 6(3), 239—259 (1976).
- [2] Шабал Л. М., О циркуляции канцерогенов в окружающей среде, «Медицина», 1973.
- [3] Grimmer, G., Carcinogenic Hydrocarbons in the Human Environment, Chem. Abst, 69(7), 1968.
- [4] Gräf, W., Diehl, H., Über den Naturbedingten Normalpegel Kanzerogener Polycyclischer Aromate und Seine Ursache. Arch. Hyg. Bakt., 150, 49—59, 1966.
- [5] Gräf, W., Med. Klinik, 15, 561, 1965.
- [6] Smith, P. V., Studies on the Origin of Petroleum; Occurrence of Hydrocarbons in Recent Sediments, Bull. Am. Ass. Petrol. Geol., 38, 377—404, 1954.
- [7] Веттиг, К., Гельберг Г. и др., Вопросы Онкологии, 22, 12 (1976).
- [8] Borneff, J., Selenka, F. et al., Environ. Res., 2, 22—29 (1968).