

苯并[a]芘在土壤-水-水稻系统中传输动力学研究*

李书鼎

(中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳, 110015)

张少兰 / 马吉春

(沈阳市环境监测中心站, 沈阳, 110015)

S154.4
S511.101

A

摘要 建立了BaP在土壤水稻系统中传输模型, 并对其在系统各组分中的含量变化做了定量分析. 实验求得了BaP在系统各相间传输速度常数和分配系数. 揭示了水中BaP向水稻体传输路径和它们的速度大小. 水稻从水中吸收BaP的速度比其从土壤中吸收的速度高4倍, 水中BaP向土壤沉积速度比水稻从水中吸收BaP的速度高7倍. 水中BaP在迁移到达水稻体之前, 绝大部分被土壤牢牢吸附而很难被水稻吸收.

关键词: 土壤植物系统, 苯并(a)芘, 传输, 动力学. 水稻;

苯并(a)芘(简称BaP)的研究一直为各国学者所重视^{1,2)}. 到目前为止, 它的研究还多集中于其在各环境要素中数量和毒性的定性描述³⁻⁵⁾. 本文采取¹⁴C-BaP示踪动力学方法, 从建立传输模型入手, 定量揭示它的环境行为.

1 实验材料和方法

1.1 实验装置

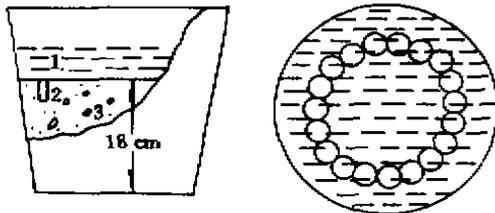


图1 水稻盆栽装置

Fig. 1 Rice pot-experimental equipment

1. 水层 Water 2. 取样管 Sample tube 3. 土壤 Soil

铁质瓷桶装入草甸棕壤, 土层厚度 18cm. 桶四周布满 $\phi 17 \times 30$ mm 铜网管作为取样器, 上口与土壤表面相平埋入土内(详见图 1). 桶中心种植水稻. 按每公斤土施入尿素 1.3g, K_2HPO_4 0.7g, 均匀拌合做为底肥.

本试验每次 2 个重复, 每年 1 次共做 2a.

1.2 灌溉水标记

¹⁴C-BaP 甲苯溶液(英国产), 比强 2.516 $\times 10^4$ Bq/mL. 取 4mL 加入 2L 水(土壤淋出水)中, 充分搅拌溶解之后, 倒入栽培桶中. 水稻整

个生长期里不断加水(不含¹⁴C-BaP)保持桶中水层厚度不变.

1.3 取样时间与样品制备

* 国家自然科学基金资助项目.

** 刘秀珍、杨健秋参加部分工作.

收稿日期: 1993 12 20, 修改稿收到日期: 1994 07 02.

当 ^{14}C 标记水加入系统后,立即取样($t=0$)分析。然后相隔1、3、5、7、14、21、28、35、42、49和81d逐次取样。每次采土2管、水5mL和水稻2株。土壤烘干磨碎过60目筛;水稻沿土表处剪断,直立水冲3min,然后烘干磨碎待分析使用。

1.4 样品 ^{14}C -BaP分析测定方法^[6]

取10—200mL水,加环己烷在70℃水浴上重复提取2次,然后依次进行液相分配、氧化铝柱层析和纸层析,用液闪测量 ^{14}C -BaP活度。

取土样5g,用氯仿浸泡过夜,重复提取2次后,依次进行柱和纸层析,液闪测定 ^{14}C -BaP活度。

取水稻样品25g(或2株稻草重),依次环己烷索氏提取、液相分配、柱和纸层析,液闪计数 ^{14}C -BaP活度。

测量仪器为FJ-353G₁型双道液闪计数器。

1.5 样品 ^{14}C 活度测定方法

仪器为FH1914型低本底 β 测量装置。CFR₁系列 ^{14}C 参考源(英)和自制 ^{14}C -BaP纸源($\varphi 40\text{mm}$)用于仪器刻度。

取水样5—10mL常压室温蒸发至干,残渣用苯点于 $\varphi 40\text{mm}$ 滤纸上,测量 ^{14}C 活度。

土壤和水稻固体粉末样品在 $\varphi 40\text{mm}$ 测量盘中铺成厚样,测量 ^{14}C 活度。

2 系统中BaP的传输类型和遵循规律

灌溉水、土壤和水稻中 ^{14}C -BaP和 ^{14}C 的活度随时间变化测定结果分析绘成图2和图3。水中 ^{14}C -BaP含量随时间增加而减少属衰减型。土壤和水稻中 ^{14}C -BaP含量随时间增长而增加,

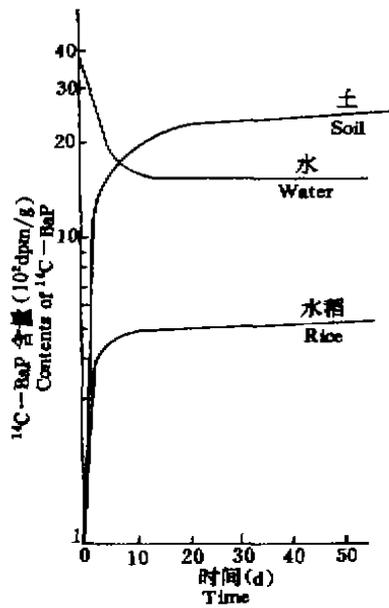


图2 土壤、水和水稻中 ^{14}C -BaP含量随时间变化
Fig. 2 The changes of ^{14}C -BaP content with time in soil, water and rice

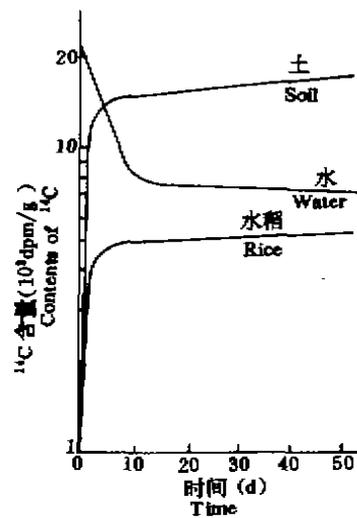


图3 土壤、水和水稻中 ^{14}C 活度随时间变化
Fig. 3 The changes of ^{14}C activity with time in soil, water and rice

二者变化属累积型。3条曲线共同点是都可分3段:在 $t < (>)$ 某值时,曲线近似直线段;当 t 处于某区间值(如5—15d)时,图形为一曲线段。因此 ^{14}C -BaP在该系统中传输属于三元指数模型,变化遵循指数规律。

图2和图3形状相似,变化速率相同。由于 ^{14}C 活度测量比 ^{14}C -BaP分析程序简单,本文以下用 ^{14}C 活度变化来研究 ^{14}C -BaP的传输规律。

3 BaP 传输的数学描述

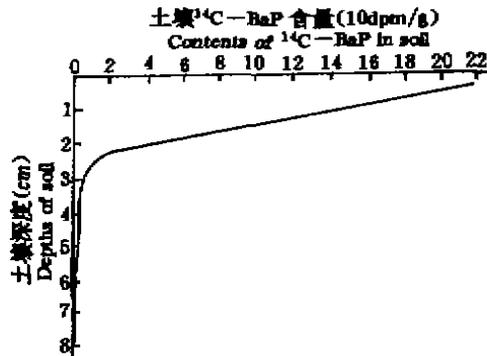


图4 土壤中BaP的垂直分布

Fig. 4 Vertical distribution of ^{14}C -BaP in soil

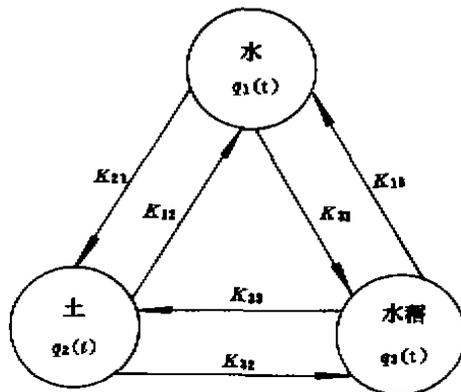


图5 土壤水稻系统组成图

Fig. 5 Constitutive of soil-rice system

综合以上理论和实验分析,BaP在该系统中传输可以看成是一个各组分间具有相互作用的3室封闭体系(如图5所示)。 $q_i(t)$ 表示 i 室 ^{14}C -BaP在 t 时刻的数量(或浓度); K_{ij} 表示从 j 室传输到 i 室的 ^{14}C -BaP的速度常数(t^{-1}); $i, j=1, 2, 3$ 。

该系统内各室 ^{14}C -BaP数量(或浓度)变化速度可以用方程组I表示:

水中BaP溶解度很低(25℃为0.0038mg/L),但辛醇-水体系中分配系数很高(1.0965×10^5),所以它在土壤水稻系统中迅速向土壤沉积。 ^{14}C -BaP含量随土壤深度变化见图4。 ^{14}C 大部分集中于土壤3cm深以内,不会迁移出耕层而损失。

在饱和氧的稀释水中,Smith等人测定BaP在光作用下被氧化分解成醌类物质,光解半衰期为12h。然而在天然水或者稀释水中含有溶解的腐殖酸时,光解作用被抑制。这是BaP分配到溶解的有机质中,从而降低了其光解速率。本文研究的体系中,水相含有大量的有机物和藻类等颗粒物,所以不但增加了BaP的吸附分配,还大大地降低了其对光的吸收度,因此光解速度很缓慢,可以忽略这方面的损失^[7]。

按照Tiusly^[8]关于水中污染物挥发量计算公式: $C_t = C_0 e^{-\frac{K_v t}{d}}$,BaP从水相挥发到气相中总交换常数 $K_v = 6.5479 \times 10^{-6} \text{ cm/min}$,本文实验水层深度为 $d = 4 \text{ cm}$,实验所经历的有效时间 $t = 30 \text{ d}$,总的挥发损失: $\frac{C_0 - C_{30}}{C_0} = 6.8\%$,蒸发半衰期 $T_{1/2} = 294 \text{ d}$ 。如上所述,实验水相含许多有机质和颗粒物,因此BaP的实际挥发量将远小于这个理论计算值。

少量的BaP被水稻吸收之后,很难向地上部分运转,不会因蒸腾损失。因此土壤水稻系统中BaP的挥发损失也可不计。

$$(1) \begin{cases} \frac{dq_1(t)}{dt} = K_{12}q_2(t) + K_{13}q_3(t) - (K_{21} + K_{31})q_1(t) \\ \frac{dq_2(t)}{dt} = K_{21}q_1(t) + K_{23}q_3(t) - (K_{12} + K_{32})q_2(t) \\ \frac{dq_3(t)}{dt} = K_{31}q_1(t) + K_{32}q_2(t) - (K_{23} + K_{13})q_3(t) \end{cases}$$

由盆栽原始条件设 $t=0$ 时, $q_1(t)=q_1(0), q_2(0)=q_2(0)=0; K_1=K_{21}+K_{31}, K_2=K_{12}+K_{32}, K_3=K_{23}+K_{13}$ 。将方程组(1)进行拉氏变换,解矩阵行列式。假设:

$$b = K_1 + K_2 + K_3 \tag{1}$$

$$c = K_1K_2 - K_2K_3 + K_1K_3 - K_{13}K_{31} - K_{12}K_{21} - K_{23}K_{32} \tag{2}$$

$$d = K_2 + K_3 \tag{3}$$

$$f = K_2K_3 - K_{23}K_{32} \tag{4}$$

$$g = K_{23} + K_{13} + K_{23}K_{31}/K_{31} \tag{5}$$

$$h = K_{12} + K_{32} - K_{21}K_{32}/K_{31} \tag{6}$$

逆拉氏变换,方程组(1)的解如下:

$$\begin{cases} q_1(t) = q_1(0) \left[\frac{f}{r\delta} + \frac{(r^2 - dr + f)e^{-rt}}{r(r-\delta)} + \frac{(\delta^2 - d\delta + f)e^{-\delta t}}{\delta(\delta-r)} \right] \end{cases} \tag{7}$$

$$\begin{cases} q_2(t) = q_1(0)K_{21} \left[\frac{g}{r\delta} + \frac{(g-r)e^{-rt}}{r(r-\delta)} - \frac{(g-\delta)e^{-\delta t}}{\delta(\delta-r)} \right] \end{cases} \tag{8}$$

$$\begin{cases} q_3(t) = q_1(0)K_{31} \left[\frac{h}{r\delta} + \frac{(h-r)e^{-rt}}{r(r-\delta)} + \frac{(h-\delta)e^{-\delta t}}{\delta(\delta-r)} \right] \end{cases} \tag{9}$$

上式中: $r = \frac{1}{2}(b - \sqrt{b^2 - 4c})$ \tag{10}

$$\delta = \frac{1}{2}(b + \sqrt{b^2 - 4c}) \tag{11}$$

4 动力学传输实验结果

水和土壤中¹⁴C 活度动态实验测定结果见表1和图6。它们曲线形状近似由3条斜率不同的直线段组成:(1)0≤t≤3时,用 Ae^{-αt}描述;(2)7≤t≤30时,用 Be^{-βt}来描述;(3)45≤t≤81时,用 Ce^{-γt}描述,但因这条线段近似平行于横轴,即¹⁴C 活性不随时间变化(α=0),则 Ce^{-αt}=C,于是图6土壤和水中¹⁴C 活性变化规律都是:

$$q(t) = C + Ae^{-\alpha t} + Be^{-\beta t} \tag{12}$$

式中仅A与B的符号不同罢了。方程(12)与方程(7)、(8)形式完全相同。这就从实验上证明用方程组I描述BaP在土壤水稻系统中的传输规律是正确的。

表1 水和土壤中¹⁴C 活性浓度变化(dpm/mL(g))

Table 1 Change of ¹⁴C-activity with time in water and soil

t(d)		0	1	3	7	14	21	28	35	42	49	81
q ₁ (t)	1991	5532.8	1774.3	1142.4	554.8	417.9	239.0	161.0	71.4	75.9	50.1	67.0
	1992	30543.3	10500.0	2578.8	1300.0	83.0	80.0	78.0	76.0	75.5	76.0	—
q ₂ (t)	1991	0	1999.3	3865.3	4131.8	4200.0	4410.0	4501.0	4531.0	5331.4	5864.5	5423.3
	1992	0	24000.0	28800.0	33000.0	36500.0	38300.0	39100.0	37500.0	37600.0	37900.0	—

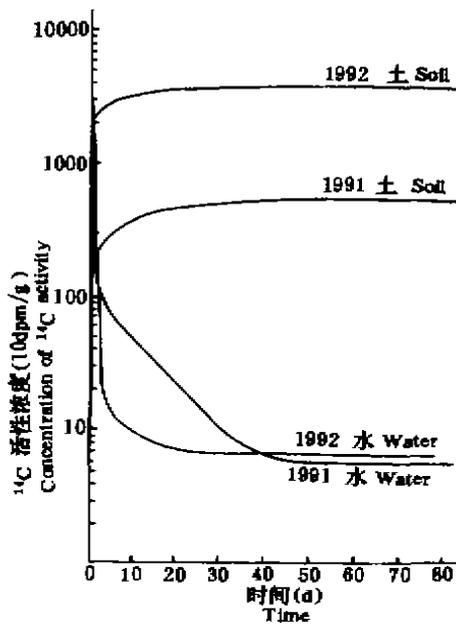


图 6 土壤和水中¹⁴C 活性随时间变化半对数图
Fig. 6 Semilogarithm graphic of ¹⁴C-activity changes with time in soil and water

4.1 用表 1 和图 6 中水(1991)¹⁴C 活性值确定方程(7)中有关常数

从图 6 中水的曲线看,当 $t > 45$ 时, $C_e e^{-\alpha t} \rightarrow$ 常数, 设其为 C_1 ($\because \alpha \approx 0$), 延长该线段与纵轴相交, 推得 $C_1 \approx 60 \text{dpm/mL}$ 。将此值代入方程(7)后得: $q_1(t) - 60 = \frac{q_1(0)(r^2 - dr + f)e^{-rt}}{r(r - \delta)} + \frac{q_1(0)(\delta^2 - d\delta + f)e^{-\delta t}}{\delta(\delta - r)}$ (13)

由表 1 $q_1(t)$ 计算 $[q_1(t) - 60]$ 值得表 2。当 $r \rightarrow \infty$ 时, $[q_1(t) - 60] \rightarrow 0$, 即 e^{-rt} 与 $e^{-\delta t}$ 都趋于 0, 但由于 $\delta > r$, 所以 $e^{-\delta t}$ 将先于 e^{-rt} 趋于 0。这样式(13)可近似为:

$$q_1(t) - 60 \approx A_1 e^{-rt}$$

其中 $A_1 = \frac{q_1(0)(r^2 - dr + f)}{r(r - \delta)}$ (14)

做 $[q_1(t) - 60]$ 对 $t = 14, 21, 28$ 时指数回归得: $A_1 = 1243.0, r = 0.0904, R(\text{回归系数}) = -0.9985$ 。于是方程(13)可写成

$$[q_1(t) - 60] - 1243.0e^{-0.0904t} \approx B_1 e^{-\delta t}$$

其中

$$B_1 = \frac{q_1(0)(\delta^2 - d\delta + f)}{\delta(\delta - r)}$$
 (15)

由表(2)数值计算 $[q_1(t) - 60 - 1243.0e^{-0.0904t}]$ 列表(3)中。做 $[q_1(t) - 60 - 1243.0e^{-0.0904t}]$ 对应 $t = 0, 1, 3$ 时的指数回归得: $B_1 = 2950.8, \delta = 1.0889, R = -0.9614$ 。将 A_1, B_1, r, δ 和 $q_1(0)$ 之值分别代入(14)和(15), 联立解之得: $t = 0.2253, f = 0.0082$ (取正值)。

表 2 $[q_1(t) - 60]$ 值随时间的变化

Table 2 Changes of $[q_1(t) - 60]$ with time

t	0	1	3	7	14	21	28	35	42	49	81
$q_1(t) - 60$	5472.8	1714.3	1082.4	484.8	357.9	179.0	101.0	71.4	15.9	0	7

表 3 $[q_1(t) - 60 - 1243.0e^{-0.0904t}]$ 对时间的变化

Table 3 Changes of $[q_1(t) - 60 - 1243.0e^{-0.0904t}]$ with time

t	0	1	3	7	14	21	28
$q_1(t) - 60 - 1243.0e^{-0.0904t}$	4229.8	578.7	134.7	-175.4	7.3	-7.2	2.1

4.2 用表(1)和图 6 土壤(1991)¹⁴C 活性值确定方程(8)中有关常数项

土壤曲线与水相反,当 $t \rightarrow \infty$ 时, ¹⁴C 含量增加达一个最大值,外推此值为 5300dpm/g。表(1) $q_2(t)$ 值按 $[5300 - q_2(t)]$ 换算得表(4)。 $[5300 - q_2(t)]$ 随时间的变化规律和水中 ¹⁴C 变化相同(变化图示略去)。假设

表4 [5300- $q_2(t)$]值随时间变化
Table 4 Changes of [5300- $q_2(t)$] with time

t	0	1	3	7	14	21	28	35	42	49	81
5300- $q_2(t)$	5300	3300.7	1434.7	1168.2	1100.0	890.0	798.9	76.9	31.4	0	123.3

$$C_2 = \frac{q_1(0)K_{21}g}{r\delta}, A_2 = \frac{-q_1(0)K_{21}(g-r)}{r(r-\delta)} \quad (16)$$

$$B_2 = \frac{-q_1(0)K_{21}(g-\delta)}{\delta(\delta-r)} \quad (17)$$

则方程(8)可写成:

$$5300 - q_2(t) = (5300 - C_2) + A_2e^{-rt} + B_2e^{-\delta t} \quad (18)$$

(18)的解可与方程(7)相同的方法处理。结果(步骤略去)如下: $A_2=1443.3, B_2=4125.2$ 。把 A_1, B_1, r, δ 之值分别代入(16)与(17),联立解之得: $g=0.1186, K_{21}=0.8350$ (取正值)。将 r, δ 值代入(10)与(11)联立解之得: $b=1.1793, c=0.0984$ 。

4.3 BaP在系统各组分间传输速率 K_{ij} 的解

将 b, c, d, g, f, K_{21} 之值分别代入方程(1)~(5),整理并解之,可依次得到: $K_{31}=0.1190, K_{23}=0.1108, K_{32}=0.0324, K_{12}=0.0901, K_{13}=0.0080, K_{21}=0.8350$ 。将 $K_{12}, K_{32}, K_{21}, K_{31}$ 之值代入式(6)得: $h=0.3498$ 。

4.4 系统各组分 ^{14}C -BaP含量及其变化速度

将实验求得的 $r, \delta, d, f, g, K_{21}, K_{31}, h$ 之值分别代入(7)、(8)和(9)式,得到系统各组分中 ^{14}C -BaP含量 $q_i(t)$ 数学表达式如下:

$$\text{I} \begin{cases} q_1(t) = q_1(0)(0.0833 + 0.4894e^{-0.0901t} + 0.8724e^{-1.0689t}) \\ q_2(t) = q_1(0)(1.0060 - 0.2609e^{-0.0901t} - 0.7452e^{-1.0689t}) \\ q_3(t) = q_1(0)(0.4229 - 0.3420e^{-0.0901t} - 0.0809e^{-1.0689t}) \end{cases}$$

水、土和水稻中BaP的量都与开始向系统的投加量和经历时间有关。原始投加量 $q_1(0)$ 一经确定,其含量只随时间变化。将 K_{ij} 之值分别代入方程组(I),则可得到系统各组分中BaP量变化速度:

$$\begin{cases} \frac{dq_1(t)}{dt} = 0.0901q_2(t) + 0.008q_3(t) - 0.954q_1(t) \\ \frac{dq_2(t)}{dt} = 0.835q_1(t) + 0.1108q_3(t) - 0.1225q_2(t) \\ \frac{dq_3(t)}{dt} = 0.119q_1(t) - 0.0324q_2(t) - 0.1188q_3(t) \end{cases}$$

只要知道了 t 时刻系统各室中BaP的数量,便可算出该时刻BaP数量变化速度。

4.5 模型的误差和验证

1992年盆栽水稻实验结果与模型计算值见表(7)所示。实验开始($t=0$)经水向系统投加的 ^{14}C -BaP浓度为30543.3dpm/mL。水中BaP的计算值与实测值起初10多天相差较小,在BaP引入系统14d之后,误差成倍增加,相对偏差可达400%,这是水中藻类与杂草等水生生物随时间增加而生物量增加,大量吸附BaP所致。

土壤和水稻中 BaP 含量计算值与实测值相差较小, 偏差分别低于 3% 与 30%。因为 BaP 的含量是由 ^{14}C 活度测量得到的, 受统计涨落影响大, 所以计算值与实测量达到这样吻合是较满意的。

表 7 模型计算值与 1992 年实验测定值 [dpm/g (mL)]

Table 7 values of experiment detection and model-calculation in 1992

项目		时间 Time(d)						
		0	1	3	7	14	21	28
水 Water	a	44133	22626	14957	10496	6761	4784	3734
	b	30543	23182	12602	9800	1340	985	1100
	c	44.3	2.4	18.7	7.1	404.2	365.5	239.4
土壤 Soil	a	0	15886	23783	26483	28479	29633	30093
	b	0	21000	26800	33000	36500	38500	39100
	c	0	-2.9	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2
水稻 Rice	a	0	2542	4858	7568	9970	11352	12086
	b	0	3550	4200	8900	8900	8952	9500
	c	0	-28.4	15.7	-17.2	12.0	26.8	27.2

a 计算 Calculate, b 实测 Determine, c 偏差 Error

$$c\% = \frac{a-b}{b} \times 100\%$$

5 传输模型的应用

5.1 估算 BaP 在生态系统各组分间的分配系数

当系统达平衡 ($t \rightarrow \infty$) 时, 由方程组 (I) 可得水、土壤和水稻中的 BaP 浓度分别为 $q_1(\infty) = 2544.3 \text{ dpm/mL}$, $q_2(\infty) = 30726.6 \text{ dpm/g}$, $q_3(\infty) = 12916.8 \text{ dpm/g}$ 。从水向土壤分配系数 $K_{d12} = 12.1$, 从土壤向水稻分配系数 $K_{d23} = 0.4$, 从水向水稻的分配系数 $K_{d13} = 5.1$ 。因为 $K_{d12} > K_{d13} > 1$, 所以该系统中大量的 BaP 从水相向土壤沉积, 小部分向水稻体内分配。 $K_{d23} < 1$, 表明已被土壤吸附的 BaP 再向水稻体内分配几乎不大可能。

5.2 鉴别水稻体内 BaP 的来源

水稻吸收 BaP 有两条路径: 一条从水中直接吸收, 水 $\xrightarrow{K_{d13}}$ 水稻, t 时间里传输到水稻的 BaP 数量 $q'_3(t) = q_1(0)K_{d13}t$; 另一条是从土壤中吸收已沉积(或吸附)于土壤的 BaP, 即水 $\xrightarrow{K_{d12}}$ 土壤 $\xrightarrow{K_{d23}}$ 水稻, t 时间里经该路径传输到水稻的 BaP 数量 $q''_3(t) = K_{d23}K_{d12}q_1(0)t$ 。因为 $q'_3(t)/q''_3(t) = 4$, 即水稻直接从水中吸收的 BaP 比从土壤吸收的大 4 倍, 所以该系统水稻体内的 BaP 主要来自水体, 说明 BaP 一旦被土壤吸附, 再被水稻利用非常困难。 $K_{d12}/K_{d13} = 7$, 表明水体中 BaP 向土壤沉积速度比水稻吸收速度快 7 倍, 在 BaP 尚未到达水稻之前, 大部分已被土壤牢牢地吸附成结合态残留, 实际上进入水稻体的 BaP 其量甚微。

5.3 定量说明 BaP 在农业生态系中的归宿

BaP 在土壤水稻系统各组分间传输速度常数列入表 (8)。 $K_{21} \gg K_{12}$, 水与土壤两相间的迁移主要是 BaP 的沉积作用; $K_{31} \gg K_{13}$, 水与水稻之间 BaP 被水稻吸收是主要传输方式; $K_{22} \gg K_{23}$, 水稻很难从土壤中吸收 BaP。综合上述, 该系统 BaP 最终归宿是沉积并长期存在于土壤, 向水稻地上部分迁移非常困难。

6 小结

环境中 BaP 含量确定最可靠方法是采样分析。但是在许多情况下,特别是在污染事件尚未发生时,了解污染物可能去向,传输模型预测是有意义的。

表 8 BaP 在系统各组分间传输速率

Table 8 Rate of transported velocity between compartments in the system

组分间 平衡	水 $\xrightleftharpoons[K_{12}]{K_{21}}$ 土壤 Water Soil		水 $\xrightleftharpoons[K_{13}]{K_{31}}$ 水稻 Water Rice		土壤 $\xrightleftharpoons[K_{23}]{K_{32}}$ 水稻 Soil Rice	
	K_{21}	K_{12}	K_{31}	K_{13}	K_{32}	K_{23}
K_{ij}	0.8350	0.0901	0.1190	0.0080	0.0324	0.1108

模型建立时作了大量简化,例如本模型水稻 BaP 含量计算,水稻重量是以 BaP 刚引入系统首次($t=0$)取样的重量为基准。在推导过程中又过分近似处理,所以在应用于真实系统时,误差较大,对模型尚需不断加以改进和完善。

参 考 文 献

- 1 程元恺. 致癌性多环芳烃. 北京: 人民卫生出版社. 1980, 1—12
- 2 邓卫东, 李书鼎等. 应用 ^{14}C 标记化合物在水稻中生物合成 BaP 的研究. 中国环境科学, 1981, (4), 32—36
- 3 高拯民等. 致癌物 BaP 对土壤植物系统污染研究. 环境科学学报, 1981, 1(1), 1—8
- 4 吴维中等. 沈阳污水灌区矿物油污染综合治理研究. 土壤植物系统污染生态研究. 北京: 中国科技出版社. 1986, 106—115
- 5 陈铨荣等. 水稻植株对 ^{14}C -BaP 的吸收及降解的初步研究. 农业环境保护, 1982, (3), 10—13
- 6 谢重阁等. 环境中石油与 BaP 的分析技术研究. 土壤植物系统污染生态研究. 北京: 中国科技出版社. 1986, 400—428
- 7 金相灿. 有机污染物化学-有毒有机物污染化学. 北京: 清华大学出版社. 1990, 287—303
- 8 Tinsley Ian J. Chemical Concepts in Pollutant Behavior. John Wiley & Sons Inc., 1979, 45—62

KINETIC STUDY ON TRANSPORT OF BaP IN SOIL-RICE SYSTEM

Li Shuding

(Institute of Application Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang, China, 110015)

Zhang Shaolan Ma Jichun

(Shenyang Monitor Centre of Environment)

This paper has established a transport model of BaP and analysed quantitatively the movement of the components in soil-rice system. Transported rate and distribution coefficients of ^{14}C -BaP between the systematic constituents are obtained empirically. Transport paths and velocity of BaP to rice have been revealed. The BaP absorbing of rice from water is 4 times higher than that from soil. Deposited velocity of BaP to soil in the water is 7 times greater than that the rice absorbing rate from water. A great number of BaP will be adsorbed by soil so that they can not be assimilated the BaP reaches to rice in water.

Key words: soil-rice system, benzo(a)pyrene, transport, kinetic.