

# 环境激素对食品安全的生态风险分析

侯彦喜<sup>1</sup>, 陈太政<sup>2</sup>

(1. 开封大学, 河南 开封 475004; 2. 河南大学环境与规划学院, 河南 开封 475004)

**摘要:** 环境激素对食品安全乃至全球生态系统以及全人类已构成潜在威胁。就环境激素的概念、特点及分类进行了研究, 初步探索了环境激素危害食品安全的途径, 并运用分形理论研究了食品与环境激素的关系, 探讨了环境激素的评估及风险评价方法。

**关键词:** 环境激素; 食品安全; 分形理论; 生态风险

**中图分类号:** X-652      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1004-3268(2006)06-0112-04

## Analysis on the Ecological Risk Made by Environmental Hormones to Food Security

HOU Yan-xi<sup>1</sup>, CHEN Tai-zheng<sup>2</sup>

(1. Kaifeng University, Kaifeng 475004, China;

2. College of Environment and Planning, Henan University, Kaifeng 475004, China)

**Abstract:** Environmental hormones has made up potential threat to the food security, even to the global ecological system and all the human beings. This essay presented the concept, features and classification of environmental hormones, initially probed the ways in which environmental hormones impact on food security. It also studied the relation between food and environmental hormones with fractal theory, and probed the methods of the evaluation and risk assessment of the environmental hormones.

**Key words:** Environmental hormone; Food security; Fractal theory; Ecological risk

在人类生活中, 由环境污染带来的危害是多方面的, 其中与人类健康直接相关的是环境对食品的污染, 在食品的生产、加工、贮存、流通和消费过程中, 都可能受到有毒有害化学品的污染, 以致造成食品安全问题。食品污染是指危害人体健康的有害物质进入正常食物的过程。包括环境污染和生产加工过程中产生的有毒有害物质, 即农药残留、兽药残留、霉菌毒素、食品加工过程中形成的某些致癌和致突变物以及工业污染物。由于这些化合物广泛存在于人类生活环境中, 可模拟激素影响人体内分泌功能, 具有与人和生物体内分泌激素相似的作用, 因此, 提出了环境内分泌干扰物即环境激素的概念。环境激素是指由于人类的生产和生活活动而释放于环境中的、对人体和动物体内本身正常激素的功能

施加影响, 从而影响内分泌系统的化学物质<sup>[1]</sup>。这些化学物质主要通过 3 种直接途径侵害人类, 即空气、水源和食物, 特别是通过食物引起的动物体和人体代谢的紊乱已经成为当前环境与食品科学研究的前沿与焦点。

### 1 环境激素的特点与分类

#### 1.1 环境激素的特点

1.1.1 毒性具有持久性 环境激素主要存在于人工合成的化合物中, 目前, 全世界已经合成了 1 000 多万种化合物, 经常使用的有 7 万~8 万种, 其中, 相当数量的化合物具有毒性。这些化合物稳定性极强, 一旦被生物体摄入就无法分解也不能排出, 只能随生物的食物链不断传递, 处于食物链顶端的人类

收稿日期: 2005-11-28

作者简介: 侯彦喜(1965-), 男, 河南兰考人, 讲师, 本科, 主要从事营养与食品安全研究。

就成为环境激素污染的最终集聚地。

1.1.2 有一定的潜伏期 环境激素污染作用的暴发可能有一个较长的潜伏过程。

1.1.3 危害范围广 随着工业发展,大量环境激素在制药、塑料制品、添加剂生产、除草剂的使用和垃圾处理等过程中不断释放,其中许多物质不易分解,可在食物链中循环,也可随风扩散,因此,不管其原生地在哪里,都会形成区域性或全球性的威胁。环境激素不仅影响环境和生态,现已从食品扩大到纺织品、玩具、奶瓶、补牙材料、塑料小商品等。

1.1.4 毒性具有协同效应 环境激素与内分泌系统的相互作用相当复杂,除单独作用之外,还有相加、相乘、拮抗作用等<sup>[2]</sup>。

1.2 环境激素的分类

在环境激素黑名单中,除镉、铅、汞 3 种重金属元素以外,其余都是有机化合物,分农药和工业化合物两大类<sup>[3]</sup>。

农药类环境激素主要有:除草剂,如 2,4,5—三氯苯氧基乙酸(2,4,5—涕)、2,4—二氯苯氧基乙酸(2,4—滴)、杀草强、莠去净、草不氯、西玛津、除草醚、赛克津、氟乐灵、五氯苯酚等;杀真菌剂,如六氯苯、五氯苯酚、烯菌酮、代森锌、福美锌、代森锌锰、代森锰、代森联等;杀虫剂,如六氯环已烷、乙基对硫磷、西维因、氯丹、氧化氯丹、反式—九氯、滴滴涕、滴滴伊和滴滴滴、三氯杀螨醇、艾氏剂、异狄氏剂、狄氏剂、硫丹、七氯、环氧七氯、马拉硫磷、灭索威、甲氧滴滴涕、灭蚁灵、毒杀芬、涕灭威、苯来特、开蓬、氯氰菊酯、亚尔发菊酯、速灭菊脂、氯菊脂等;熏蒸剂,如 1,2—二溴—3—氯丙烷等。

工业化合物类环境激素主要有:树脂原料及增塑剂,如双酚 A、二(2—乙基己基)邻苯二甲酸酯

(DEHP)、丁基苄基邻苯二甲酸酯(BBP)、邻苯二甲酸二环已酯(DCHP)、邻苯二甲酸二丁酯(DBP)、邻苯二甲酸二乙酯(DEP)、邻苯二甲酸二戊酯(DPP)、邻苯二甲酸二己酯(DHP)、邻苯二甲酸二丙酯(DpP)、苯乙烯、正丁苯等;表面活性剂降解物,如烷基酚(从 C<sub>5</sub> ~ C<sub>9</sub>);绝缘油,如多氯联苯;防腐剂,如三丁锡、三苯锡;阻燃剂,如多溴联苯等;焚烧或焦化过程中有害副产品,如二恶英、苯并 a 芘等;其他重金属,如铅、镉、汞等。

2 环境激素对食品安全的影响途径

当环境激素进入大气、水体、土壤后,如果其数量、浓度和持续时间超过环境的自净能力,就会使生态平衡受到破坏,环境激素即通过食物链进入人类的食品(图 1)<sup>[4]</sup>。

2.1 大气污染

大气中的环境激素对农作物及动物的危害非常严重,长期暴露在被污染空气中的动植物,由于其体内外污染物增多,可造成其生长发育不良或受阻,甚至发病或死亡。由此影响食品的安全性。

2.2 水体污染

水体污染对食品安全的影响,主要是通过污水中的环境激素类物质在动、植物中累积而造成的,污染物随污水进入水体后能够通过植物的根系吸收并向地上部分以及果实中转移,使有害物质在作物中积累,同时也能进入生活在水中的水生动物体并蓄积。

2.3 土壤污染

进入土壤的环境激素,如果其数量超过了土壤自然本底含量和土壤自净能力的限度,就会在土壤里累积,使土壤理化性质发生变化,从而影响作物生

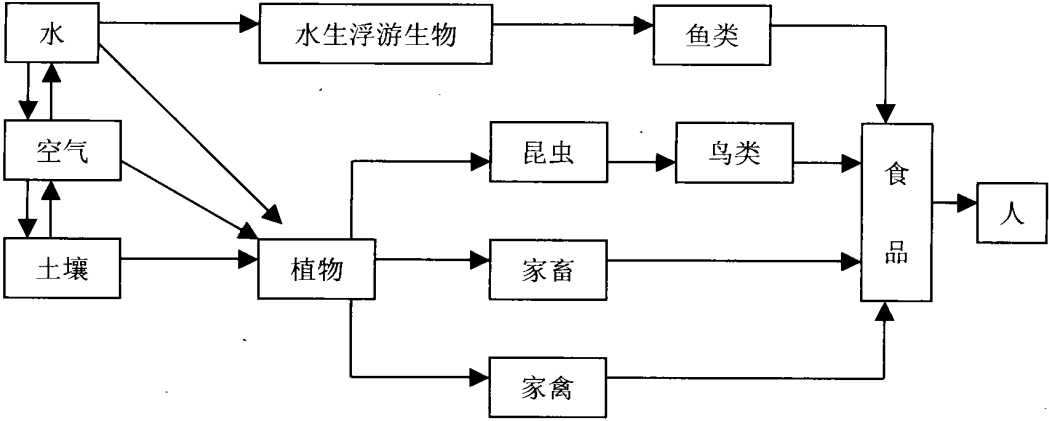


图 1 环境激素进入食品的途径

长,并使环境激素在作物体内残留或积累。如果进入土壤的环境激素不断增加,将使土壤结构严重破坏,农作物的产量明显降低,收获作物体内的毒物残留量会增高,以致影响食用安全。

3 环境激素对食品安全影响的风险分析

3.1 环境激素在食品中的戴韦伊斯分形

环境激素在食品中的残留量及其分布可运用分形理论的戴韦伊斯分形来研究。假设某食品中含有某种环境激素,质量为 M。如果把此食品平分为二,其中一块含有环境激素的量为  $\alpha M$ ,  $\alpha$  为一分数;另一块食品中环境激素的含量应为  $(1-\alpha)M$ 。如果把这 2 块食品中的每一块再平分为 2,就有了 4 块体积相同的食品了,它们中的环境激素含量分别为  $\alpha^2 M, \alpha(1-\alpha)M, (1-\alpha)\alpha M$  与  $(1-\alpha)^2 M$ 。也就是说,每一次把某食品平分为 2 时,环境激素分开的比例为  $\alpha:(1-\alpha)$ 。如果  $\alpha=1/2$ ,表明环境激素均匀分布在食品中。但在实际情况中,  $\alpha$  不等于 1/2,但可以认为  $\alpha$  为一恒定值,同分割的次数无关,这种认识同实际情况大体一致。当这种分割的步骤进行到无限多时,就有了分布的极限。这个分形的分维数  $d_f$  就等于:

$$d_f = -\{\alpha \log_2 \alpha + (1-\alpha) \log_2 (1-\alpha)\}$$

当  $\alpha=1/2$  时,  $d_f=1$ ;在其他情况下  $d_f<1$ 。事实上,当  $\alpha=1$  或 0 时,  $d_f=0$ ,当  $d_f$  比 1 更小时,环境激素在食品中的分布就比较集中。戴韦伊斯分形对于描述环境激素在食品中的分布是有用的,并且这个分维也描述了自相似性,即把环境激素在小区域的分布放大后便可得到大区域的分布<sup>[3]</sup>。

3.2 环境激素暴露评价的计算

通过水、土壤、作物、食品等暴露途径,人体吸收环境激素的量(Q)可按下式计算:

水环境激素的暴露  $Q = C_w \cdot WIR \cdot GI / BW$

土壤环境激素的暴露  $Q = C_s \cdot SIR \cdot GI / BW$

食品环境激素的暴露  $Q = C_d \cdot FIR \cdot GI / BW$

式中: Q —— 人体吸收环境激素量, pg/(kg·d)

$C_w$  —— 水中环境激素浓度, pg/L

$C_s$  —— 土壤中环境激素浓度, pg/L

$C_d$  —— 食品中环境激素浓度, pg/L

WIR —— 水中消耗速率, kg/d

SIR —— 土壤中消耗速率, kg/d

FIR —— 食品中消耗速率, kg/d

GI —— 体内吸收因子

BW —— 体重, kg

环境暴露的许多指标如环境监测检出频次、背景浓度、有害物质处置量、释放率、生物富集系数等均需实测环境激素的浓度,在暴露评价程序中通过计算求得。由于条件限制也可适当引用一部分其他单位已发表的实验数据。

3.3 环境激素的膳食暴露风险评估方法与方程式

3.3.1 环境激素的膳食暴露风险评估方法 环境激素经膳食暴露可分为慢性(长期的)暴露和急性(短期的)暴露。前者经历时间长,可从数月到终生,后者指 1 d 食入的环境激素量。急性膳食暴露风险评估(Dietary exposure risk assessment)是估算人们在 1 d 内可能暴露的程度(范围),可使用“暴露概率模型法”(Probabilistic exposure modeling technique),具体用“Monte Carlo analysis”。该法能估算出人们不同的暴露水平<sup>[6]</sup>。

3.3.2 环境激素的膳食暴露风险方程式 膳食风险可以用环境激素的毒性和暴露的函数表示。

风险(R)=f(毒性,暴露量)

式中毒性与暴露量并不是相互乘积,只是表示两者一起决定风险(R)值。风险函数中的毒性如果是急性暴露以急性参考剂量(aRfD)表示,慢性暴露则以 cRfD 表示,单位为 mg/(kg·d)。aRfD 是人 1 d (急性)暴露的安全剂量,慢性暴露则用 cRfD,为长期暴露的安全剂量。

经膳食的暴露量来自两部分:食品中的环境激素量和人 1 d 摄入食品量。食品环境激素量数据来源于有关部门的试验资料或经常性食品监测数据。人的摄取食品量可由农业与卫生部门组织调查获得。

急性膳食暴露风险评估基本方程式如下:

暴露量[ mg/(kg·d) ] = 摄食量[ 食品 kg/(kg·d) ] × 环境激素量(环境激素 mg/食品 kg)

$aRfD \text{ 或 } cRfD = \frac{NOAEL [mg/(kg \cdot d)]}{[mg/(kg \cdot d)] \text{ 种间系数}(10X) \times \text{种内系数}(10X)}$

$\text{人群校正剂量}(aPAD \text{ 或 } cPAD) [mg/(kg \cdot d)] = \frac{aPAD \text{ 或 } cPAD}{\text{必要的附加 FQPA 系数}}$

$\%aPAD \text{ 或 } \%cPAD = \frac{\text{暴露剂量} [mg/(kg \cdot d)]}{(aPAD \text{ 或 } cPAD) [mg/(kg \cdot d)]} \times 100\%$

当人群中有人群中有胎儿、婴儿或儿童时,就要对 FQPA 安全系数进行调整(保留、增、减),因为要考虑农药的毒性和暴露与毒性资料数据库的完整性。经调整后得出的就是人群校正剂量(acute Population Adjusted dose, aPAD)。 $\%aPAD$  反映 aPAD 与估算暴露剂量的相对值。如果估算值  $< aPAD$ , 相对  $< 100\%$ , 反之,  $> 100\%$ , 传统上,  $\%aPAD < 100\%$ , 估算暴露

值是“安全的”。

4 结论

1) 环境激素是一个模糊的集合概念,它是干扰人类和动物正常内分泌机能的外源性化学物质,特别是对于人类和脊椎动物遗传的影响,逐渐受到人们的关注。人类活动使众多的化学物质被释放进入环境中,造成了环境的化学污染。许多化学污染物可以经过包括食物链在内的各种途径进入人体,威胁和危害人的健康。现在已知的环境激素种类还相当有限,随着时间的推移、人们认识的不断深化,将会有更多的化学物质被列入环境激素范围内。

2) 食品安全问题被人们广泛关注,“无公害农产品”这个词已不再陌生。但要想真正达到“无公害农产品”的要求却不那么容易,因为,蔬菜瓜果的生长离不开农药,而使用的大部分农药都属于环境激素类。目前,我国可能是环境激素污染的大国。蔬菜、水果和粮食的农药超标率平均为 22.5%, 18.79%和 6.2%。通过生物浓缩关系,居于食物链末端的肉食性哺乳动物体内将积累过量的残留农药,通过食品进入人体。

3) 环境激素是危害全球生态的元凶。从己烯雌酚到“反应停”(胺呱啶酮)、滴滴涕、多氯联苯等

许多有机氯化合物以及双酚 A、邻苯二甲酸酯类等,都是隐藏在我们身边环境中凶残的“杀手”,都是具有内分泌干扰效应的环境激素,而且其中有不少是持久性有机污染物,可以通过食物链富集进入人体,并长期停留在机体中而起着持续干扰内分泌的破坏作用,不仅危害当代人,还会威胁后代人。环境激素中的拟雌激素和抗雄激素还可能引发雄性雌化,导致系列人文生态与社会问题,是生态环境和社会经济发展中潜在的隐患。因此,加强对环境激素与食品安全关系的研究具有深远的意义。

参考文献:

[1] 孙胜龙. 环境激素与人类未来[ M] . 北京: 化学工业出版社, 2005.  
[2] 陈正夫. 环境激素的分析与评价[ M] . 北京: 化学工业出版社, 2004.  
[3] 曾北危. 环境激素[ M] . 北京: 化学工业出版社, 2005.  
[4] 马逊风. 食品安全与生态风险[ M] . 北京: 化学工业出版社, 2003.  
[5] 魏诺. 非线性科学基础与应用[ M] . 北京: 科学出版社, 2004.  
[6] 陈炳卿. 食品污染与健康[ M] . 北京: 化学工业出版社, 2002.

本刊常用单位符号及换算

依据国家标准,本刊在刊发稿件中一律使用法定计量单位,为便于读者阅读,现将本刊常用单位符号及其换算方法介绍如下:

- 1 长度单位: km= 公里、千米, m= 米, cm= 厘米, mm= 毫米; 换算: 1 km= 1 000 m, 1 m= 100 cm= 3 尺, 1 cm= 10 mm
- 2 重量单位: t= 吨或 1 000 kg, kg= 公斤、千克, g= 克, mg= 毫克; 换算: 1 t= 1 000 kg, 1 kg= 1 000 g, 1 g= 1 000 mg, 500 g= 1 市斤, 50 g= 1 两
- 3 面积单位: m<sup>2</sup>= 平方米, hm<sup>2</sup>= 公顷, cm<sup>2</sup>= 平方厘米; 换算: 1 hm<sup>2</sup>= 10 000 m<sup>2</sup>= 15 亩, 1 亩= 667 m<sup>2</sup>
- 4 浓度单位: 1 mg/ kg, mg/ L 或 mg·kg<sup>-1</sup>, mg·L<sup>-1</sup>, μL·L<sup>-1</sup>= 1× 10<sup>-6</sup>= 1 ppm, 即百万分之一, 不用 ppm 和 1× 10<sup>-6</sup>表示
- 5 时间单位: “天、小时、分钟、秒”分别用“d、h、min、s”表示

(本刊编辑部)