

DOI: 10.5846/stxb201301070047

屠振力, 钟儒杰. 环境激素邻苯二甲酸丁基苄酯对家蚕生殖的影响. 生态学报, 2014, 34(19): 5470-5476.

Tu Z L, Zhong R J. Effects of environmental hormone butyl benzyl phthalate on the genital development of silkworm. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(19): 5470-5476.

环境激素邻苯二甲酸丁基苄酯对家蚕生殖的影响

屠振力*, 钟儒杰

(浙江大学动物科学学院, 杭州 310029)

摘要:为了探讨环境激素邻苯二甲酸丁基苄酯(Butyl Benzyl Phthalate, BBP)对家蚕(*Bombyx mori*)等鳞翅目昆虫的生殖损伤,家蚕饲以不同浓度 BBP 喷洒后的桑叶,调查了 BBP 对家蚕造卵、产卵等生殖机能的影响。结果表明:BBP 影响家蚕的体重增加、存活率及产卵特性,随着 BBP 浓度的增加,影响逐渐加大,1.6 mmol/L 添食 5 龄起蚕时,造卵数及产卵数仅为对照的 56.1% 和 51.4%,对受精及孵化等的影响具有相同变化趋势,只是对雄性的影响大于雌性;不同时期的添食结果表明,BBP 对家蚕生殖的影响:3 龄起蚕>4 龄起蚕>5 龄起蚕,0.16 mmol/L 添食时,造卵数及产卵数分别只有对照区的 57.5%、66.3%、97.6% 及 58.7%、74.1%、96.0%;BBP 添食对存活下来的个体的下一代的茧质几乎没有影响。由以上结果表明:BBP 对家蚕的生殖具有明显的毒害作用,BBP 添食浓度越高,接触时间越早,在蚕体内积累越多,产生的生殖毒性就越大,而且这种毒性雄性大于雌性。

关键词:环境激素; 邻苯二甲酸丁基苄酯(BBP); 家蚕; 生殖影响

Effects of environmental hormone butyl benzyl phthalate on the genital development of silkworm

TU Zhenli*, ZHONG Rujie

College of Animal Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China

Abstract: This study aims to determine the effects of the environmental hormone butyl benzyl phthalate (BBP) on the genital development of the silkworm *Bombyx mori*. Larvae were fed with different concentrations of BBP at different developmental stages. The numbers of mature eggs produced and laid were recorded, and the genital development was observed. The body weight, survival rate, and egg production were greatly influenced by BBP concentration. In newly molted fifth larva fed with 1.6 mmol/L BBP, 56.1% and 51.4% of mature eggs were produced and laid, respectively, as compared with the controls. The fertilization rate and hatchability of the silkworm showed similar tendencies. The effects of BBP were greater on males than on females. The effects of BBP on the different life stages of silkworm were arranged as follows: newly molted third larva > newly molted fourth larva > newly molted fifth larva. For newly molted third, fourth, and fifth larvae fed with 0.16 mmol/L BBP, 57.5%, 63.3%, 97.6% of mature eggs were produced, respectively, and 58.7%, 74.1%, 96.0% of mature eggs were laid, respectively, as compared with the controls. No evident effects on the cocoon quality of the following generations were observed. BBP, which can accumulate in the silkworm body, has significant detrimental effects on genital development. The earlier the larvae were fed with BBP and the higher the BBP concentration, the greater the biological effects.

Key Words: environmental hormone; butyl benzyl phthalate (BBP); *Bombyx mori*; genital effect

环境激素,又叫环境荷尔蒙或环境内分泌干扰物,具有很弱的激素样作用,可能影响到包括人类在

基金项目:浙江省蚕桑产业科技创新团队(2011R50028);农业部公益性行业(农业)科研专项(nyhyzx07-02-04)

收稿日期:2013-01-07; 网络出版日期:2014-03-07

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: tuzl@zju.edu.cn

内的各种生物的生殖功能、免疫系统和神经系统,是继臭氧层破坏、温室效应之后的又一全球性环境问题。邻苯二甲酸丁基苄酯(Butyl Benzyl Phthalate,以下简称 BBP)是邻苯二甲酸酯类化合物 PAEs 的一种,是 70 种环境激素之一^[1]。BBP 是一种透明油状液体,溶于有机溶剂和烃类,不溶于水,其作为增塑剂、软化剂、载体及添加剂,广泛用于塑料、汽车、润滑剂、化妆品、服装、农药等行业^[2-4]。在日常生活用品和农药中也大量存在,有资料表明,乙烯地砖、密封剂、乙烯甲醛、黏合剂和地毯中也含有 BBP^[5-6]。因为其在城市污泥及大气中普遍存在,而且在环境中的分布相对比较严重,被人们称为“第二个全球性 PCB(多氯联苯类)污染物”^[7],但目前有关环境激素 BBP 对生物的生殖影响及其毒性机理研究的报道还不多见,据对小鼠的研究表明,BBP 进入体内后在肝和血液中很快被降解为邻苯二甲酸单丁酯(MBuP)和邻苯二甲酸单苄酯(MBeP),被降解后的 MBuP 和 MBeP 随血液迅速分布到全身器官,从而对睾丸等组织器官产生毒性作用,导致精子生物活性的降低^[8-9];赵兰兰等^[10]调查了 BBP 等对萼花臂尾轮虫种群增长和有性生殖的影响,结果表明 BBP 对轮虫混交率、混交雌体受精率、种群增长率和休眠卵产量均有显著影响。特别是近年来,在土壤及地下水中都检测出不同浓度的 BBP^[11-12],桑树生长在这样的环境下,不可避免含有一点浓度的 BBP,这些 BBP 通过桑叶最终进入到蚕体内;而有关 BBP 对家蚕等鳞翅目昆虫的生物影响研究较少,仅屠等^[13]调查了 BBP 对鳞翅目昆虫之一的家蚕(*Bombyx mori*)的生长发育及茧质等的影响,结果表明:BBP 对家蚕具有明显的毒害作用,在家蚕体内具有累积效应而影响蚕茧的产量和质量;但 BBP 对家蚕的产卵特性等的影响还未见报道。为了了解 BBP 对生物生殖的毒性,以期正确评价 BBP 对生殖能的影响,本试验以鳞翅目昆虫家蚕为材料,通过在桑叶中喷洒不同浓度的 BBP,用上述桑叶饲养不同龄期的家蚕幼虫,调查添食后家蚕的造卵和产卵等生殖性状的影响。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 蚕品种

秋丰,由浙江省蚕种公司提供。

1.1.2 试剂及配制

邻苯二甲酸丁基苄酯 BBP,购自上海百灵威化学技术有限公司,按 BBP:吐温-80:蒸馏水=1:1:8 的比例乳化 BBP,然后配制成相应浓度的 BBP 溶液。

1.2 幼虫饲养及 BBP 的添食方法

家蚕卵孵化后,置于生化培养箱内(27—28℃)用常规方法饲养,每天给桑 3 次,至 2 龄就眠。3 龄起蚕、4 龄起蚕及 5 龄起蚕后,按照清水对照、0.16、0.32、0.64 mmol/L 及 1.6 mmol/L 的 BBP 浓度分 5 组;每组 3 个重复区,每个重复区 25 头蚕。将不同浓度的 BBP 溶液均匀喷洒于桑叶上,用喷洒后的桑叶连续添食饲养,直至上簇结茧。

1.3 家蚕的性状调查

每天对不同添食区的家蚕进行个体称重,每区称量个体数为 6 头;每天在添食饲养的同时,记录每组家蚕幼虫的生长状况及死亡个体数,计算存活率。熟蚕时将其放入事先垫有卫生纸的容器内,使其吐丝结茧,家蚕吐丝结茧 1 周后,调查死亡个体数后采茧,剖茧后记录茧内死亡个体数,计算化蛹率。存活个体继续常规保护直至羽化。

1.4 家蚕的产卵特性调查

添食后羽化的雌性个体与正常雄蛾交尾,在雌蛾产卵结束后立即在一定量的生理盐水中解剖产卵后的雌蛾,调查输卵管中的残存卵数,产卵后第 12 日调查产卵数和受精卵,计算造卵数、产卵数和受精卵率,作为产卵性能的指标。每一处理的调查个体数为 6 头。

1.5 下一代的饲养调查

将 5 龄添食处理后存活个体所产蚕卵进行即时浸酸处理,按常规方法饲养。熟蚕时将其放入事先垫有卫生纸的容器内,使其吐丝结茧,家蚕吐丝结茧 1 周后,剖茧鉴别雌雄后各取 6 粒茧子,对全茧重及茧层重进行称量,计算全茧重、茧层重及茧层率。

1.6 数据分析

实验数据以重复组平均值表示,显著性测定采用 *t*-测验法。

2 结果与分析

2.1 对家蚕 5 龄体重的影响

不同浓度 BBP 添食家蚕 5 龄起蚕后,5 龄期的雌蚕体重变化如图 1。0.64 mmol/L 及以下浓度添食

时,5龄期的体重及体重增加与对照区之间没有明显的差异,都是随着个体的发育而增加,在熟蚕时体重达最大值;1.6 mmol/L 浓度添食时,5龄前2d的体重及体重增加与对照区之间的差异不是很明显,都是随着发育体重逐渐增加;但5龄第3天以后,体重增加较对照缓慢。进一步对熟蚕时的体重进行显著性测定表明,1.6 mmol/LBBP 添食区的体重明显低于对照,差异达显著水平($P<0.05$)。

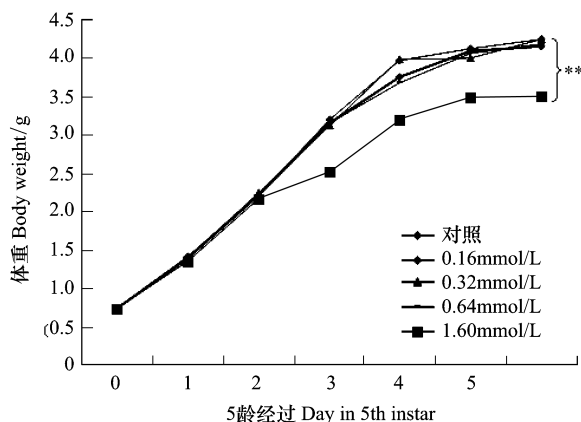


图1 不同浓度 BBP 添食对家蚕体重的影响

Fig.1 Effect on body weight of *Bombyx* silkworm, larvae were fed on different concentrations BBP at the 5th stage

** $P<0.01$. 显著性测定采用 T -测验法

BBP 添食不同发育时期家蚕后,对5龄体重的影响结果如图2。0.32 mmol/L 添食时,不同添食时间与没有添食的对照区没有明显的差异,都是随着个体的发育而增加,熟蚕时的体重相似;而0.64 mmol/L 添食时,5龄起蚕添食区与没有添食的对照区没有明显的差异,而3龄起蚕添食区的体重增加与没有添食的对照区存在明显差异,体重增加明显缓慢,熟蚕时体重仅为对照的75.0%,极显著低于对照及5龄起蚕添食区($P<0.01$);4龄起蚕添食区的体重变化介于两者之间。

2.2 对家蚕不同发育阶段存活特性的影响

不同浓度 BBP 添食5龄起蚕后,结茧率、化蛹率及羽化率的调查结果如表1。0.16 mmol/L 的添食区, BBP 对家蚕结茧率、化蛹率及羽化率没有影响;0.32 mmol/L 时,结茧率没有影响,而以后的化蛹及羽化率逐渐减少;0.64 mmol/L 及以上浓度时,随着添食浓度的增加,结茧率逐渐减少,而且同一浓度下,随着发育,对化蛹及羽化率等的影响逐渐增加,1.6 mmol/L 添食时,仅有60%的个体能够羽化。

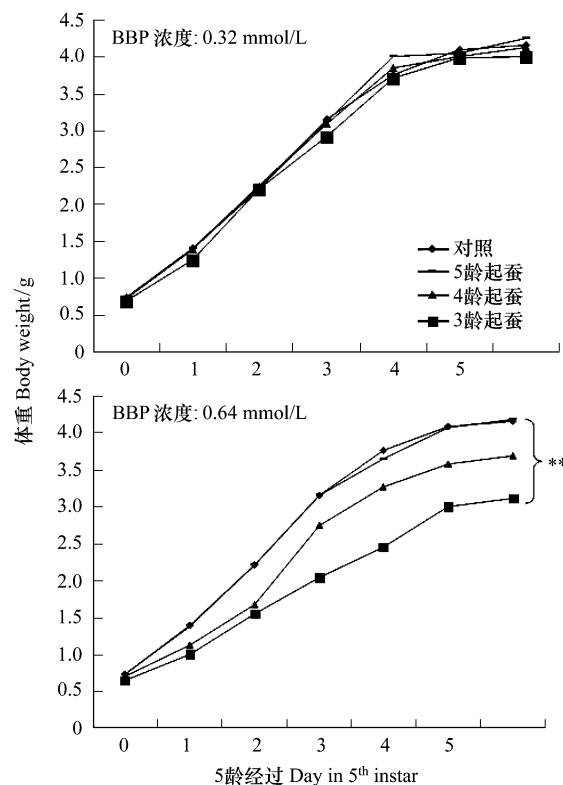


图2 不同时期 BBP 添食对家蚕体重的影响

Fig.2 Effect on body weight of *Bombyx* silkworm, larvae were fed on BBP at different developmental stage

** $P<0.01$; 显著性测定采用 T -测验法

表1 不同添食浓度对家蚕生存率的影响

Table 1 Effect on survival rate of *Bombyx* silkworm, larvae were fed on different concentrations BBP at the 5th stage

BBP 浓度/(mmol/L) BBP concentration	结茧率/% Cocooning rate	化蛹率/% Pupation rate	羽化率/% Adult emergence rate
0.16	100	100	100
0.32	100	96	92
0.64	96	90	80
1.6	84	80	60
对照 Control	100	100	100

0.16 mmol/L 的 BBP 添食不同时期的家蚕后,对存活率的影响结果如表2。5龄起蚕添食区的结茧率、化蛹率及羽化率与对照区没有差异,而3龄起蚕添食区比对照区明显减少,仅有72%、68%及60%的个体能够结茧、化蛹及羽化。而4龄起蚕添食区的结茧率、化蛹率及羽化率介于两者之间。

2.3 对家蚕产卵性能的影响

不同浓度 BBP 添食5龄起蚕后,家蚕产卵性能的调查结果如表3。0.16 mmol/L 的添食区,家蚕的

表 2 不同添食时间对家蚕生存率的影响

Table 2 Effect on survival rate of *Bombyx* silkworm, larvae were fed on BBP at different developmental stage

添食时间 BBP feeding stage	结茧率/% Cocooning rate	化蛹率/% Pupation rate	羽化率/% Adult emergence rate
3 龄起蚕 Newly moulted 3rd larva	72	68	60
4 龄起蚕 Newly moulted 4th larva	84	80	72
5 龄起蚕 Newly moulted 5th larva	100	100	100
对照 Control	100	100	100

添食浓度 BBP feeding concentration: 0.16 mmol/L

造卵数及产卵数与对照相比没有明显减少,而 0.32 mmol/L 以上浓度时,随着添食浓度的增加,家蚕的造卵数及产卵数逐渐减少,当 1.6 mmol/L 添食时,家蚕的造卵数及产卵数仅为对照的 56.1% 和 51.4%。受精率及孵化率的调查结果与上述相似。另外,在相同的添食浓度下,受精率及孵化率的调查结果显示,雄性的影响大于雌性。

0.16 mmol/L 的 BBP 添食不同时期的家蚕后,对产卵特性的影响结果如表 4。5 龄起蚕添食区的造卵数及产卵数与对照区没有明显减少,而 3 龄起蚕添食区的造卵数及产卵数明显比对照区减少,仅为对照的 57.5% 和 58.7%,差异达极显著水平

表 3 不同添食浓度对家蚕产卵性的影响

Table 3 Effects on egg production of *Bombyx* silkworm, larvae were fed on different concentrations BBP at the 5th stage

性别 Sex	添食浓度/(mmol/L) BBP concentration	造卵数 No. of mature eggs produced (Mean±S.D.)	产卵数 No. of eggs laid (Mean±S.D.)	受精率/% % of fertilized eggs *	孵化率/% Hatchability *
雌 Female	0.16	487±47	457±51	95.4	93.8
	0.32	411±41	402±40	91.1	88.5
	0.64	388±46	374±42	79.2	73.1
	1.6	280±52	242±45	61.2	52.6
雄 Male	0.16	—	—	94.1	89.7
	0.32	—	—	87.4	84.6
	0.64	—	—	70.2	63.2
	1.6	—	—	48.6	39.8
对照 Control		499±31	471±35	99.6	96.1

* 添食处理雌(雄)性个体与没有添食的雄(雌)性个体交配,调查个体数为每区 6 头

表 4 不同添食时间对家蚕产卵性的影响

Table 4 Effects on egg production of *Bombyx* silkworm, larvae were fed on BBP at different developmental stage

添食时间 BBP feeding stage	造卵数 No. of mature eggs produced (Mean±S.D.)	产卵数 No. of eggs laid (Mean±S.D.)	受精率/% % of fertilized eggs *	孵化率/% Hatchability *
3 龄起蚕 Newly moulted 3rd larva	287±77	247±61	55.9	46.7
4 龄起蚕 Newly moulted 3th larva	331±48	312±43	82.3	72.5
5 龄起蚕 Newly moulted 3th larva	487±47	304±48	95.4	93.8
对照 Control	499±31	421±35	99.6	96.1

* 添食处理雌性个体与没有添食的雄性个体交配,调查个体数为每区 6 头;添食浓度 BBP feeding concentration: 0.16 mmol/L

($P<0.01$),而 4 龄起蚕添食区的造卵数及产卵数介于两者之间,分别为对照的 63.3% 和 74.1%。受精率及孵化率也具有相同的变化趋势。

2.4 对家蚕下一代茧质的影响

饲养不同浓度的 BBP 添食 5 龄起蚕后存活个体

所产的蚕卵,其饲养结果见表 5,虽不同浓度添食区的全茧重及茧层重与对照区之间存在若干差异,但与对照区之间的差异没有达到显著水平。雌蚕和雄蚕的全茧重及茧层重的调查基本结果。

表 5 不同添食浓度对下一代茧质的影响

Table 5 Effect on cocoon quality of the next generation *Bombyx* silkworm, larvae were fed on different concentrations BBP at the 5th stage

性别 Sex	添食浓度 BBP concentration	全茧重/g Cocoon weight	茧层重/g Cocoon shell weigh	茧层率/% % of cocoon shell
雌 Female	0.16 mmol/L	1.934±0.129	0.492±0.035	25.44
	0.32 mmol/L	1.921±0.134	0.486±0.041	25.30
	0.64 mmol/L	1.918±0.147	0.473±0.021	24.66
	1.6 mmol/L	1.909±0.137	0.487±0.029	25.51
	对照 Control	1.924±0.127	0.489±0.033	25.47
雄 Male	0.16 mmol/L	1.689±0.131	0.459±0.021	27.18
	0.32 mmol/L	1.712±0.124	0.460±0.026	26.87
	0.64 mmol/L	1.701±0.119	0.452±0.034	26.57
	1.6 mmol/L	1.693±0.152	0.449±0.027	26.52
	对照 Control	1.702±0.131	0.461±0.023	27.09

3 讨论

不同浓度 BBP 添食 5 龄起蚕后,家蚕产卵性能的调查结果表明,在 0.16 mmol/L 时,家蚕的造卵数及产卵数与没有添食的对照相比没有明显减少,而超过 0.32 mmol/L 时,随着添食浓度的增加,家蚕的造卵数及产卵数逐渐减少,1.6 mmol/L 添食区的造卵数及产卵数仅为对照的 56.1% 和 51.4%;受精率及孵化率的调查结果相似(表 3)。随着添食时间的提前,家蚕造卵数及产卵数逐渐减少,3 龄起蚕添食区的造卵数及产卵数仅为对照的 57.5% 和 58.7%,表明接触 BBP 时间越早,对家蚕产卵特性的影响越大(表 4)。由预备试验知道家蚕 1—2 龄添食清水就要引起死亡,所以本试验仅对家蚕 3 龄及以后的发育时期的幼虫进行添食调查。虽土壤及地下水中的 BBP 浓度有限^[11-12],家蚕可能不会接触到那么高的 BBP,但从本试验结果可以推断出,如果蚕种生产上从刚孵化的蚁蚕开始就接触到 BBP 的话,桑叶中只要存在极微量的 BBP,就有可能产生毒性反应而引起中毒,导致造卵数及产卵数的减少,直至不能形成蚕卵,但这需要改变添食方法等作进一步的调查证实。

有关 BBP 中毒引起家蚕生殖能的减弱的机理目前还不清楚,但据李文英等^[14]对邻苯二甲酸酯类的一种——邻苯二甲酸二丁酯(DBP)对斑马鱼的毒性分析认为,随 DBP 浓度的增加和暴露时间的延长,斑马鱼肝脏、鳃中的 SOD 酶和 ATPase 活性均显著受到抑制,也就是说 DBP 是通过影响酶的活性进

而影响到斑马鱼的生长发育及生存的;李文兰等^[15]对小鼠的研究表明,BBP 可使小鼠的睾丸的各级生精细胞萎缩而造成精子数量的减少,生精细胞发生了病理改变而使精子活动的减少和精子畸形的增加;其原因是由于 BBP 进入小鼠体内后在肝和血液中很快被降解为邻苯二甲酸单丁酯(MBuP)和邻苯二甲酸单苯酯(MBeP),被降解后的 MBuP 和 MBeP 随血液迅速分布到全身器官,从而对睾丸等组织器官产生毒性作用,导致精子生物活性的降低^[8-9]。推测 BBP 对家蚕的影响可能也是通过影响家蚕酶的活性而引起的。幼虫期是家蚕唯一的取食阶段,当饲用含有 BBP 的桑叶后,BBP 被家蚕的消化器官吸收后,进入各种组织细胞,引起家蚕中毒,破坏其形态结构,影响酶的活力,从而影响家蚕的新陈代谢,食欲减退、食量减少以及一系列生理生化过程的紊乱,严重时直至死亡(表 1 和表 2)。另一方面,代谢紊乱可使脂肪体的发育受阻而影响体内养分的积累,从而抑制了体重的增加(图 1 和图 2);而脂肪体的发育受阻也可导致蛹期卵黄合成减少或发生中断等,最终影响到家蚕的造卵功能及卵质(表 3 和表 4)。在相同的添食浓度下,BBP 对家蚕产卵特性的毒性,雄性比雌性更大(表 3),这与袁红霞等^[16]的研究,环境激素之一的 2, 4-二氯苯酚(2, 4-Dichlorophenol, 1.60 mmol/kg)使雄蛾蚕的精巢几乎完全退化,而相同浓度的 2, 4-DCP 仅使雌蛾的产卵数下降的结果一致。Uriu-Adams 等^[17]的研究认为,BBP 可以引起睾丸重量减轻,产生睾丸曲细精管和各级生精细胞产生萎缩、变形,直至减少或消失等;

相同的现象在人类也被观察到,如人类由于长期暴露于化学物质污染的环境中,从而导致人类生殖能力的下降,其主要原因是环境中的化学污染物质使人类精子的质量和数量发生了显著的减少等^[18]。

BBP 在家蚕体内能够产生积累效应,当添食浓度越高,添食时期越早,蚕体内积累的 BBP 量越多,对家蚕产卵的毒性也就越大(表 3 和表 4),这与陈剑秋等报道的环境激素阿特拉津对家蚕生长发育的影响结果相似^[19]。同时,家蚕对不良环境的抵抗性与发育时期有关,越是低龄的幼虫,所产生的生物影响越大,随着个体的发育,生物影响逐渐减少^[11, 17-18],本试验的结果也表明 BBP 对家蚕的产卵的毒性具有浓度效应和时间效应,越是早期接触,其产生的影响越大,这与裔洪根等报道的环境激素壬基酚的毒性具有浓度效应和时间效应,同时能诱发细胞 DNA 的损伤^[20-22]。

饲养不同浓度的 BBP 添食 5 龄起蚕后存活个体所产的蚕卵,结果表明,BBP 添食对下一代的营茧没有明显的影响,其全茧重及茧层重与对照没有显著差异(表 5)。但饲养个体是否存在由于 BBP 添食而引起致畸或致突变等,本试验没有进行调查。李文兰等^[15]的研究证明 BBP 对生殖系统具有毒害作用,是小鼠精子畸变的诱导剂;家蚕比小鼠等生物体敏感,也应该存在相同的现象。有关 BBP 对家蚕生殖的诱变与毒害等正在进一步研究之中。

References:

- [1] van Wezel A P, van Vlaardingen P, Posthumus R, Crommentuijn G H, Sijm D T H M. Environmental risk limits for two phthalates, with special emphasis on endocrine disruptive properties. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2000, 46 (3): 3205-3214.
- [2] Smith S R. *Agricultural Recycling of Sewage and the Environment*. Wallingford: CAB International, 1996: 207-236.
- [3] Cantreeds W, Van Cauwenberghe K, Guzman L A. Comparison between the organic fraction of suspended matter at a background and an urban station. *Science of the Total Environment*, 1997, 8 (1): 79-88.
- [4] Mo C H, Cai Q Y, Wu Q T, Wang B G, Huang H Z, Zhou L X. A study of phthalic acid esters (PAEs) in the municipal sludges of China. *China Environmental Science*, 2001, 21(4): 362-366.
- [5] Lü D Y, Li W L. Study on feminized effect mechanism of environmental hormone. *Journal of Harbin University of Commerce: Natural Sciences Edition*, 2003, 19(1): 20-23.
- [6] Yang B, Li W L, Ji Y B. Comparison of estrogenic effect between Butylbenzyl phthalate and Dibutyl phthalate. *Journal of Harbin University of Commerce: Natural Sciences Edition*, 2002, 18 (6): 613-614.
- [7] Ding P, Zhao X S, Liu J F. Advances in the research of phthalate esters. *Journal of Jilin Agricultural University*, 1999, 21 (3): 119-123.
- [8] Eigenberg D A, Bozigian H P, Carter D E, Sipes I G. Distribution, excretion, and metabolism of Butylbenzyl phthalate in the rat. *Journal of Toxicology and Environmental Health*, 1986, 17(4): 445-456.
- [9] Nativelle C, Picard K, Valentin I, Lhuguenot J C, Chagnon M C. Metabolism of *n*-butyl benzyl phthalate in the female wistar rat. Identification of new metabolites. *Food and Chemical Toxicology*, 1999, 37(8): 905-917.
- [10] Zhao L L, Xi Y L, Huang L, Zha C W. Effects of phthalate acid esters on population growth and sexual reproduction of rotifers *Brachionus calyciflorus*. *Acta Zoologica Sinica*, 2007, 53 (2): 250-256.
- [11] Fei Y, Chen J, Ni X F, Wu H Y, Wu J. The analysis of PAEs spacial distribution characteristics in soil areas of the Huzhou, Zhejiang. *Agro-Environment & Development*, 2010, (2): 83-86.
- [12] Zhang Y, Sun J C, Chen X, Huang G X, Jing J H, Liu J T, Zhang Y X. The distribution characteristics and source of phthalic acid esters in groundwater of Dongguan. *Environmental Pollution and Control*, 2011, 33(8): 57-61.
- [13] Zhong R J, Lu X M, Tu Z L. Effects of Environmental hormone Butyl Benzyl Phthalate on the Development of Silkworm, *Asian Journal of Ecotoxicology*, 2010, 5: 673-678.
- [14] Li W Y, Xiong L, Liu R, Jiang Y, Hu Q Q, Wang L M. Effects of DBP on physiological and biochemical characteristics of *Brachydanio rerio*. *Asian Journal of Ecotoxicology*, 2007, 2(1): 117-123.
- [15] Li W L, Ji Y B, Zhang D L. Effect of butyl benzyl Phthalate on quality of spermatozoa of mice. *Journal of Health Toxicology*, 2004, 18(1): 40-41.
- [16] Yuan H X, Yi H G, Chen X L, Xu S Q. Effects of 2, 4-dichlorophenol on the genital development of silkworm (*Bombyx mori*). *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28 (11): 2259-2263.
- [17] Uriu-Adams J Y, Reece K C, Nguyen L K, Horvath B J, Nair R, Barter R A, Keen C L. Effect of butyl benzyl phthalate on reproduction and zinc metabolism. *Toxicology*, 2001, 159(1/2): 55-68.
- [18] Kinnberg K, Toft G. Effects of estrogenic and antiandrogenic compounds on the testis structure of the adult guppy (*Poecilia reticulata*). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2003, 54 (1): 16-24.
- [19] Chen J Q, Dai X Y, Xu S Q. Effects of environmental hormone

atrazine on the development of silkworm, *Bombyx mori*. China Sericulture, 2007, 28(4): 13-17.

- [20] Murakami A, Miki M. Age-dependent changes of radiosensitivity in embryo of *Bombyx mori*. Journal of Radiation Research, 1972, 13(4): 183-192.
- [21] Yi H G, Xu S Q, Dai X Y, Cao W, Li D G. Effect of environmental hormone nonylphenol on culture cells of *Lepidopteran insect*. Science of Sericulture, 2006, 32(2): 215-220.
- [22] Yi H G, Chen X L, Dai X Y, Dai L, Xu S Q. Effects of environmental hormone nonylphenol on the reproductive development of silkworm, *Bombyx mori* L. Bulletin of Science and Technology, 2008, 24(1): 123-128.

参考文献:

- [4] 莫测辉, 蔡全英, 吴启堂, 王伯光, 黄焕忠, 周立祥. 我国城市污泥中邻苯二甲酸酯的研究. 中国环境科学, 2001, 21(4): 362-366.
- [5] 吕东阳, 李文兰. 环境激素作用机制的研究. 哈尔滨商业大学学报: 自然科学版, 2003, 19(1): 20-23.
- [6] 杨波, 李文兰, 季宇彬. 邻苯二甲酸丁基苄酯与邻苯二甲酸二丁酯的雌激素生物活性比较. 哈尔滨商业大学学报: 自然科学版, 2002, 18(6): 613-614.
- [7] 丁鹏, 赵晓松, 刘剑峰. 酞酸酯类化合物(PAES)研究新进展. 吉林农业大学学报, 1999, 21(3): 119-123.
- [10] 赵兰兰, 席贻龙, 黄林, 查春旺. 邻苯二甲酸酯类物质对蓼花臂尾轮虫种群增长和有性生殖的影响. 动物学报, 2007, 53(2): 250-256.
- [11] 费勇, 陈江, 倪晓芳, 吴惠英, 吴杰. 湖州地区土壤邻苯二甲酸酯空间分布现状特征分析. 农业环境与发展, 2010, (2): 83-86.
- [12] 张英, 孙继朝, 陈玺, 黄冠星, 荆继红, 刘景涛, 张玉玺. 东莞地下水邻苯二甲酸酯分布特征及来源探讨. 环境污染与防治, 2011, 33(8): 57-61.
- [13] 钟儒杰, 鲁兴萌, 屠振力. 环境激素邻苯二甲酸丁基苄酯对家蚕生长发育的影响. 生态毒理学报, 2010, 5: 673-678.
- [14] 李文英, 熊丽, 刘荣, 蒋园, 胡芹芹, 王黎明. 邻苯二甲酸二丁酯(DBP)对斑马鱼(*Brachydanio rerio*)生理生化特性的影响. 生态毒理学报, 2007, 2(1): 117-123.
- [15] 李文兰, 季宇彬, 张大雷. 邻苯二甲酸丁基苄酯对小鼠精子的影响. 卫生毒理学杂志, 2004, 18(1): 40-41.
- [16] 袁红霞, 裔洪根, 陈息林, 徐世清. 环境激素 2,4-二氯苯酚对家蚕生殖发育的影响. 农业环境科学学报, 2009, 28(11): 2259-2263.
- [19] 陈剑秋, 戴璇颖, 徐世清. 环境激素除草剂阿特拉津对家蚕生长发育的影响. 中国蚕业, 2007, 28(4): 13-17.
- [21] 裔洪根, 徐世清, 戴璇颖, 曹伟, 李达光. 环境激素壬基酚对鳞翅目昆虫培养细胞的影响. 蚕业科学, 2006, 32(2): 215-220.
- [22] 裔洪根, 陈息林, 戴璇颖, 戴玲, 徐世清. 环境激素壬基酚对家蚕生殖发育的影响. 科技通报, 2008, 24(1): 123-128.