农业环境保护 yraaw, xZoΓp : zAy ~zAA
ΞΥ63μσ20χ63 2 1 σ28ξ0 φ638σπ0χ3 2

氯代苯结构与农作物毒性关系的研究

董克虞

（北京市农林科学院植保环保研究所，北京 xraadEZ）

摘　要H 研究了氯代苯与冬小麦、油菜毒性的关系。结果表明，氯代苯可抑制它们的发芽和生长，其毒性大小与浓度呈明显正相关。在浓度相同时，除六氯代苯外毒性随苯环上氢原子被氯取代个数的增加而加大。在苯环上氢原子被取代的个数和浓度相同时毒性与氢原子被取代的位置有关，邻位最大，间位次之，对位最小。在分子式、结构式和浓度都完全相同时，小麦较油菜更容易受害。

关键词H 氯代苯；油菜；冬小麦；毒性

中图分类号H: AEx wx　　**文献标识码**HΞ　　**文章编号**Hraaw—wyΓΔo yraaφrwΓ—wx Ay —wx

卤代芳烃是世界上分布广泛、对人类有剧毒的有机污染物。在化工生产、煤气燃烧、汽车尾气甚至垃圾焚烧时都会排放这类污染物，稍有不慎就会造成大面积污染。如xZZZ 年发生在比利时、德国、荷兰和法国的二▮英污染畜产品事件，波及Aw 多个国家，损失数百亿元。二▮英是一种氯代多环芳烃有机污染物θxκ，但它们对植物是否有害，危害大小与化学结构有何关系还很少有人报道。为此，我们研究了卤代芳烃结构与农作物毒性的关系。

x　材料和方法

x.x　试验材料

氯代苯系列污染物：苯、一氯代苯、x,y—二氯代苯、x,z —二氯代苯、x,A—二氯代苯、x,y,A—三氯代苯、x,y,A,B—四氯代苯、六氯代苯。均为分析纯化学试剂。

供试植物：油菜，品种“五月蔓”。由北京市农林科学院蔬菜研究中心提供；冬小麦，品种“京冬八号”，由该院作物所提供。

试验所用土壤：沙质土。采至北京四季青乡农田距地表y ~y uB1 深处的土层。

x.y　试验方法

试验前将供试作物种子进行挑选，去除杂质、破残粒和过大过小种子，再将选好的种子置滤纸上，放在太阳下晒B~Γφ 备用。将试验用的土壤置瓷盘内风干，捡去石块等杂质，过Aw 目筛备用。

试验采用一定浓度污染物的土培发芽法，每种污染物设E~xy 个浓度梯度，每浓度梯度设A~Γ 个培养皿（盆）。试验时按浓度设计将一定土壤和毒物混匀分装在培养皿内。培养皿直径Zy 1 1，深yw 1 1，内装混匀的毒土EBυ，加水xB 1 ∂，放置小麦或油菜种子xw 粒。然后将培养皿置培养箱内，在yw ℃下培养z ρ。取出测量芽长。

为了防止培养过程中污染物挥发或溢出，除操作要快外，还将培养皿放入瓷盘内，盘内注水将培养皿下口淹没，使整个培养过程处于水封状态。

x.z　试验结果的观测及数据处理

培养z ρ 后，取出培养皿，逐盆逐株测定芽长。然后算出每盆（xw 株）芽长的平均值。

将污染物浓度设为2，每盆芽长平均值设为3，在坐标纸上作图，若呈明显的直线关系则用直线方程3 KΞ+O2 拟合s 若呈曲线关系则用相关的曲线拟合。若相关性不清楚或直线曲线都能拟合时，则分别拟合。不论是直线或曲线拟合，都必须进行相关系数显著性检测。当相关系数6 或ρ y 通过φ wwB 时才能确定氯代苯系列污染物对小麦、油菜有影响。若直线与曲线方程都通过了6 值显著性检验，则选用6 值更接近x 的方程。然后用相关方程计算污染物的致死浓度，半致死浓度等毒性参数。

y　结果与讨论

yux　氯代苯系列污染物对植物都有毒，其毒性与浓度成正相关。统计结果如表x 所示，从表中可见污染物浓度o2 p与芽长o3 p的相关系数o6 p都为负值s且都达到极显著o6 Λ6 wwp水准s说明各类氯代苯污染物对植物都是有害的，其毒性随着污染物浓度增加而加大。

基金项目H本项目由北京市自然基金和农业部农产品污染防治重点开放实验室开放基金联合资助

收稿日期HZZZ—xy —yB

表x　氯代苯浓度(2)与芽长(3)相关性统计结果

氯代苯种类	冬小麦		油菜	
	相关系数*	相关方程	相关系数*	相关方程
苯	—wuZΔxwΓ	3 KxwuΓAσ —w uxxw Z2	—wuZΔΓΓ	3 KzwuΓTδ —w uxux 2
一氯代苯	—wuEAΔZ	3 KZuEΓ—wuwAxwB2	—wuZxΔz	3 KzwuΔE—wuwAz Δ2
x,y—二氯代苯	—wuEAEZ	3 KZuΓy —wuyzwx2	—wuZyZB	3 KyZuZ—wuzzBE2
x,y,A—三氯代苯	—wuZxxz E	3 KZuZZ—wuAxE2	—wuZyBΓ	3 Kzwuux—wuzΔBA2
x,y,A,B—四氯代苯	—wuZZx Δ	3 KZuBx —xuΔEB2	—wuEΓΔB	3 KzwuyA—AuΓEw2
六氯代苯	—wuEAxwE	3 KxwuEz —wuxBB2	—wuEΓΓx	3 KyZuz —wuuxz E2

* 相关系数都大于6 w uux

yuy　除六氯代苯外，氯代苯的毒性随苯环上氢原子被取代个数增加而加大。从相关方程得知，在相关系数为负值，且极显著的情况下，氯代苯毒性大小与相关曲线的斜率(O)有关，在截距(Ξ)相等时，O 的绝对值越大，其毒性越大。从表x 可见，不论是单子叶植物冬小麦或是双子叶植物油菜相关方程中的O 值都是随苯环上第x～B 位上氢原子被氯取代个数的增加而增大。也就是说除六氯代苯外氯代苯对植物的毒性随苯环上氢被取代个数的增加而增大。

一般将3 Kw 时的2 值称为致死浓度，其中值称为半致死浓度。表y 列出了氯代苯系列污染物的致死浓度和半致死浓度的平均值。从表y 可见，除六氯代苯外，氯代苯污染物的致死浓度和半致死浓度随着苯环上氢原子被取代个数的增加而下降。以油菜为例，四氯代苯的致死浓度是一氯代苯xv xwE，即四氯代苯对油菜的毒性是一氯代苯的xwE 倍。

表y　氯代苯系列污染物的致死浓度和半致死浓度(1 υvωυ)

氯代苯种类	冬小麦		油菜	
	半致死浓度	致死浓度	半致死浓度	致死浓度
苯	ΔΔxwux	ΛBxxΓ*	ΓZz ux	ΛAΓuB*
一氯代苯	xyxuΔ	yAzuB	zByuy	ΔwAux
x,y—二氯代苯	ywuZ	AxuE	AAuB	EZuw
x,y,A—三氯代苯	xAuw	yzuZ	Awuw	ΔZuZ
x,y,A,B—四氯代苯	yuΔ	Bux	zuy	ΓuB
六氯代苯	ZΔBuy	xZBwuA	xuΓyuE	yxyBuΔ

*:此值按ZZ%死亡计算。

在各种氯代苯中，六氯代苯毒性最低，可能是因为氯原子完全取代了苯环上的氢原子后形成了类似氢原子的化学性质较为稳定的共轭体系(大π 键)电子云的关系。

yux　邻位取代毒性大于间位和对位

苯是一种具有特殊构造的不饱和环状六碳烃，由Γ 个7 4 y 杂化的碳原子组成，形成由环状大π 键组成的共轭体系θyκ。亲电取代反应时间可在邻位、间位和对位上进行。以二氯代苯为例，可生成z 种异构体。表z 列出了z 种二氯代苯对冬小麦、油菜的致死浓度和半致死浓度，从中可见邻位致死浓度最低，它的毒性明显地大于其它两种分子量相同的氯代苯。z 种同分异构体毒性的排列次序是：邻位Λ 间位Λ 对位。

表z　不同取代位置二氯代苯毒性比较(1 υvωυp)

取代部位	冬小麦		油菜	
	半致死浓度	致死浓度	半致死浓度	致死浓度
邻位	ywuZ	AxuE	AAuB	EZuw
间位	Bzuw	xwBuZ	xwzuw	ywΓuw
对位	EBuΓ	xΔxuy	xAZuw	yZZuw

邻位取代毒性最大的特性不仅表现在同分异构体中，也表现在除六氯代苯以外多一个氢原子被氯取代的其它氯代苯中。如xsy—二氯代苯与xsysA—三氯代苯相比s 在增加一个氢原子被取代后的小麦致死浓度由ywuZ 1 υvωυ 下降到xAuw 1 υvωυo 见表yps 即后者毒性增加了xAuB%。但xsysA—三氯代苯与xsysAsB—四氯代苯相比，虽也增加了一个取代氯原子，但致死浓度由xAuw 1 υvωυ 下降到yuΔ 1 υvωυ，即毒性增加了EwuΔ%。同样都是多一个氢原子被取代，后者毒性增加幅度比前者大得多，这是因为后者增加的氯原子在邻位，前者在间位。

y.A　在氯代苯种类相同时，小麦受害程度大于油菜

从表z 可见，无论是一氯代苯还是六氯代苯小麦的致死浓度及半致死浓度都低于油菜，说明在氯代苯种类相同时，小麦比油菜容易遭受危害。小麦是单子叶植物，油菜是双子叶植物，在细胞结构、生理特性上都有较大差别，这种差别可能是造成它们受害程度不

同的原因。

z 小结

z.x 氯代苯可影响小麦、油菜发芽和幼苗生长，说明它们对植物都有毒，在氯代苯种类相同时，植物受害程度与污染物浓度成明显负相关。

z.y 在浓度相同时，除六氯代苯毒性最小外，其它氯代苯的毒性随苯环上氢原子被氯取代个数的增多而加大。

z.uz 苯环上不同位置的氢原子被氯取代时，毒性不同，邻位Λ 间位Λ 对位。

z.uA 在氯代苯种类、结构和浓度都相同时，单子叶植物小麦比双子叶植物油菜更容易受害。

参考文献H

θxκ 姚 敏u二▮英让全球陷入恐慌θϑκu中国环境报sxZZZ—xdΓ—yZu

θyκ 傅建熙，等u有机化学θϵκu西安H世界图书出版公司sxZZΔuxyu ZΓ—xxBu

作者简介：

董克虞oxZAz—p，男，研究员。主要从事农业环境及生态环境保护方面研究。

ρσ0ξ8χ3 2 7φχ4 7 Oσ8 1 σσ2 8φσ s869π8 9 6σ 3τ Πφ0 3 6 3 oχ2 4σ2σ Π3 1 4 3 9 2 ρ7 ξ2ρ αφσχ6 βφ3 8 3 8 3 2 χπχ8 3 8 3 Π6 3 4 7 Pϕϑ Υ Ωσμ9

oOσχ χ2υ Ξυ6χπ9 0 8 9 6σ Ξπξρσ1 3 3τ sπχσ2πσ7 s φ0ξ2 8 φ6 3 8σπ8χ3 2 ξ2ρ Σ2 0χ8 3 2 1 σ2 8 φ6 3 8σπ8χ3 2 X2 7 8χ8 9 8σ s Oσχ χ2υ xxaaaEZp

Ξo7 8 6ξπ8 H βφ3 8 3 8 3 2 χπχ8 3 3τ πφ0 3 6 3 oσ2 2σ2σ 3 2 1 χ2 8σ6 1 φσξ8 ξ2ρ 6ξ4σs 6σ7 4σπ8χ0σ0 3 1 σ6σ 6σ4 3 6 8σρ χ2 8φσ 4 6σ7σ2 8 χ2-0σ7 8χυξ8χ3 2 u αφσ 6σ7 9 0 8 7 7φ3 1 σρ 8φξ8 πφ0 3 6 3 oσ2 4σ2σ π3 9 0ρ χ2 φχ0χ8 0 3 8φ π6 3 4 7 υσ6 1 χ2ξ8χ3 2 ξ2ρ υ6 3 1 8φu X2 ξρρχ8 3 2 s 8φσ 8 3 2 χπχ8 3 8 3 8φσ π6 3 4 7 1 σ2 8χ3 2 σρ ξ0 3 0σ χ2π6σξ7σρ 1 χ8φ 8φσ π3 2 πσ2 8 6ξ8χ3 2 3τ πφ0 3 6 3 oσ2 4σ2σ π3 1 4 3 9 2 ρ7 σ2φξ2πσρu β2ρσ6 8φσ 7ξ1σ π3 2 πσ2 8 6ξ8χ3 2 7 s 8φσ 8 3 2 χπχ8 3 χ2π6σξ7σρ 1 χ8φ 8φσ 2 9 1 0σ6 3τ φ3ρ6 3 υσ2 ξ8 3 1 7 7 9 0 7 8χ8 9 8σρ 0 3 πφ0 3 6χ2σ ξ8 3 1 7 χ2 0σ2 4σ2σ 6χ2υ u X2 8φσ πξ7σ 3τ χρσ2 8χπξ0 2 9 1 0σ6 3τ φ3ρ6 3 υσ2 ξ8 3 1 7 7 9 0 7 8χ8 9 8σρ χ2 8φσ 6χ2υ ξ2ρ π3 2 πσ2 8 6ξ8χ3 2 7 s 8φσ 8 3 2 χπχ8 3 π0σξ6 0 3 6σ0χσρ 3 2 7 9 0 7 8χ8 9 8σρ 4 3 7χ8 3 2 3 2 8φσ 6χ2υ 1 χ8φ ξ2 3 6ρσ6 3τ 3 6 8φ3 — Λ 1 σ8ξ — Λ 4ξ6ξ —χ3 1 σ6 u X8 1 ξ7 ξ0 7 3 τ3 9 2 ρ 8φξ8 1 φσξ8 1 ξ7 1 3 6σ 7σ2 7χ8χ0σ 8 3 8φσ 7 9 0 7 8χ8 9 8σρ 0σ2 4σ2σ7 8φξ2 1 ξ7 6ξ4σu

Ωσ3 1 3 6ρ7 Hπφ0 3 6 3 —7 9 0 7 8χ8 9 8σρ 0σ2 4σ2σΘ7 8 6 9π8 9 6σΘπ6 3 4 7 Θ4φ3 8 3 8 3 2 χπχ8 3

---

o 上接第zAx 页p

和延缓一些疾病的发生。另外，许多研究结果也表明光合细菌富含O 族维生素和辅酶κ 等生理活性物质，促进鱼虾等水生生物的生长，也能防治鱼虾病害的发生。由于目前大量使用化学药品和抗生素来防治鱼虾病害的发生，化学药品易残留在环境中，带来二次污染，抗生素容易使病毒产生抗药性，长期使用后效果不佳，与其相比，光合细菌具有较多的优点，在水产养殖中将具有较大的开发应用价值。

参考文献H

θxκ βπσ2 2χυ ϑ uβφ3 8 3 7 3 2 8φσ8χπ υ6σσ2 ξ2ρ 4 9 6 4 0σ oξπ8σ6χξ HΞπ3 1-4ξ6ξ8χ0σs 7 3 7 8σ1 ξ8χπ 7 9 6 0σ3θΨκu Ξ2 2 9 ρσ0 ϵχπ6 3 oχ2 0 s xZΔΔs zxHyΔB—yZxvu

θyκ 刘双江s孙 燕s岑运华s等u采用光合细菌控制水体中亚硝酸盐的研究θΨκu环境科学sxZZBs xΓoΓpHyx—yzu

θzκ 许 洁u 光合细菌的某些生物学性状θΨκu水产科学sxZZz s xy oypHyΔ—zxvu

θAκ 祝国芹s姜静颖s刘 卫s等u高活性光合细菌的分离培养及应用θΨκu水产科学sxZZAs xzoxpIΓ—xxvu

θBκ 刘 中s于伟君s刘义新s等u光合细菌在淡水养殖中的应用研究θΨκu水产科学sxZZBs xAoxpHz—xΔu

作者简介：

丁爱中oxZΓZ—p，男，安徽怀宁人，博士后，教授。目前工作单位：北京师范大学环境科学研究所，从事水污染控制治理技术和环境地质学研究，曾主持、参加多项国家科研项目，发表多篇学术论文 。

δξ8σ6 κ9ξ0χ8 3 τ3 6 Ξ5 9χπ9 0 8 9 6σ X1 4 6 3 0σρ o3 βφ3 8 3 7 3 2 8φσ8χπ Oξπ8σ6χξ

PXϑ Υ Ξχμφ3 2υs ΠΦΣϑ Tξ2μφ3 2υs ∂ΣX Ψχξ2μ9ξ2 s Tβ Ψχξμ1 3 s sΦΣϑ Υ Υ9 3μχ2υ

oΥ9ξ2υρ3 2υ Ωσ3 ∂ξo3 6ξ8 3 6 3τ ρσ7 3 9 6πσ7 β8χ4ξ8χ3 2 &. Σ2 0χ8 3 2 1 σ2 8 φ6 3 8σπ8χ3 2 s Υ9ξ2υ4φ3 9 sBxvΓAxw Πφχ2ξp

Ξo7 8 6ξπ8 H ϵξ2 3 8 6ξχ2 7 3τ 4φ3 8 3 7 3 2 8φσ8χπ oξπ8σ6χξ oβs Op 1 σ6σ χ1 3 0ξ8σρ τ6 3 1 7 3χ0 7 ξ2ρ τ9 6 8φσ6 9 7σρ τ3 6 χ1 4 6 3 0χ2υ 1 ξ8σ6 5 9ξ0χ8 3 τ3 6 ξ5 9χπ9 0 8 9 6σ ξ8 o3 8φ 0ξo3 6ξ8 3 6 3 ξ2ρ 4 3 2ρ σ2 4σ6χ1 σ2 8 7 7πξ0σ7 s 6σ7 4σπ8χ0σ0 3 u αφσ σ2 4σ6χ1 σ2 8ξ0 6σ7 9 0 8 7 7φ3 1 σρ 8φξ8 βs O π3 9 0ρ ξρχ8 7 8 1 ξ8σ6 4 Φ 0ξ0 9σ 1 χ8φ ξ 6ξ2υσ 3τ ΓuZΔ∼Euxx ξ8 8φσ 0ξo3 6ξ8 3 6 3 σ2 4σ6χ1 σ2 8 7 ξ2ρ ΓuEy∼EuBy ξ8 4 3 2ρ σ2 4σ6χ1 σ2 8 7 s 6σ7 4σπ8χ0σ0 3 u X2 ξρρχ8 3 2 s χ8 1 ξ7 χ2ρχπξ8σρ 8φξ8 8φσ oξπ8σ6χξ π3 9 0ρ ξ0 7 3 χ2π6σξ7σ 3 2 3 υσ2 π3 2 8σ2 8 7 χ2 1 ξ8σ6 τ6 3 1 yuux 1 υυ ∂ 8 3 xxuxw 1 υυ ∂ ξ2ρ τ6 3 1 zuΔw 1 υυ ∂ 8 3 ZuZA 1 υυ ∂ s ξ2ρ ρσπ6σξ7σ 8 3 2χπ ξ1 1 3 2χξ 2χ8 6 3 υσ2 oϑ ΦA+—ϑ pτ6 3 1 wuxw 1 υυ∂ 8 3 wuux 1 υυ∂ s ξ8 0ξo ξ2ρ 4 3 2ρ 8σ7 8 7 s 6σ7 4σπ8χ0σ0 3 u αφσ oξπ8σ6χ9 1 π3 9 0ρ ρσπ6σξ7σ ϑ ΦA+—ϑ χ2 1 ξ8σ6 3 0χ3 9 7 0 3 s π3 1 4ξ6σρ 1 χ8φ π3 2 8 6 3 0 u αφσ 1 σπφξ2χ1 3τ 1 ξ8σ6 5 9ξ0χ8 3 —ξρψ9 7 8χ2υ 1 χ8φ βs O 1 ξ7 σ2 4 0ξχ2σρ χ2 8φσ 4 6σ7σ2 8 4ξ4σ6 u

Ωσ3 1 3 6ρ7 H4φ3 8 3 7 3 2 8φσ8χπ oξπ8σ6χξ Θ1 ξ8σ6 5 9ξ0χ8 3