

二 ■ 英类化合物的土壤环境质量研究进展

吴卫红, 谢正苗*, 徐建明

(浙江大学环资学院资源科学系, 浙江杭州 $z.x\alpha\alpha yZ$)

摘 要 H 介绍了土壤环境中二 ■ 英类化合物污染来源、污染现状, 概述了其在土壤中、土—植界面和食物链中的迁移转化规律, 以及对人体健康的影响。

关键词 H 二 ■ 英类化合物 Θ 来源 Θ 行为; 土壤环境质量影响

中图分类号 $H B\omega$ **文献标识码** HE **文章编号** $H\alpha\alpha\alpha\nu-\omega y\Gamma\Delta\circ\gamma\alpha\alpha\phi\mu\Gamma-\omega zIE-\alpha B$

二 ■ 英类化合物 $\phi PPPvT; p$ 为三环氯代芳香化合物, 是物理化学性质相似的多氯二苯并二 ■ 英 (ϕPPP) 和多氯二苯并呋喃 (ϕPPT) 两组化合物的统称, 主要来源于焚烧和化工生产, 属于全球性污染物, 存在于各种环境介质中。在 ΔB 个 ϕPPP 和 xzB 个 ϕPPT 同类物中, 侧位 (y, z, Δ, E —位) 被氯取代的化合物 (αPPP) 对某些动物表现出特别强的毒性, 有致癌、致畸、致突变作用, 引起人们的广泛关注。

土壤环境质量是土壤容纳、吸收和降解各种环境污染物质的能力并进而影响和促进人类和动植物健康的能力。近年来, 由于大气沉降、污泥农用、农药的施用, 使土壤中二 ■ 英类化合物积累, 其环境稳定性对土壤环境质量造成了一定的影响。国外对环境中的二 ■ 英类化合物的来源、暴露及健康影响进行了研究, 对土壤中的二 ■ 英风险和毒性进行了评价。我国有关这方面的研究起步较晚, 有关土壤中二 ■ 英的行为研究较少, 很多领域尚未涉及。本文在国内外有关研究的基础上, 对土壤环境中二 ■ 英类化合物的来源、迁移转化规律作一综述, 目的在于为进一步作出土壤环境质量的预测、预控, 以及制订防治土壤二 ■ 英类化合物污染和促进动植物健康的措施, 提供科学依据。

x 土壤中二 ■ 英类化合物的污染来源及污染现状

xw 土壤中二 ■ 英类化合物的来源

环境中 $\phi PPPvT$ 主要来源于焚烧和化工生产, 前者包括氯代有机物或无机物的热反应, 如城市废弃物、医院废弃物及化学废弃物的焚烧以及家庭用煤和香烟的燃烧, 后者主要来源于氯酚、氯苯、多氯联苯 (ϕPO) 及氯代苯氧乙酸除草剂等生产过程、制浆造纸中的氯化漂白及其它工业生产中。通过大气沉

降、污泥农用、农药的施用等途径进入土壤。

$xw\omega$ 农药的施用

目前发现含有二 ■ 英类化合物的农药主要有除草剂、杀菌剂和杀虫剂。 $y, A, B-\alpha$ 和 $y, A-P$ 是主要用于森林的苯氧乙酸除草剂。最毒的 $ys, z, s, \Delta, E-\alpha PPP$ 异构体最初就是在 $y, A, B-\alpha$ 中发现的。自从 zw 年代以来, 氯酚被广泛用作杀菌剂、杀虫剂、木材防腐剂以及亚洲、非洲、南美洲地区的血吸虫病的防治, 氯酚的生产主要采用苯酚的直接氯化或氯苯的碱解这两种方式, 因此 $\phi PPPvT$ 常常作为氯酚制造过程的副产物而进入环境。

$xw\omega y$ 污泥农用

有研究表明, 城市污泥所含 $\phi PPPvT$ 的毒性当量 (以干重计) 通常在 $\gamma w \sim \Delta w \times \chi w^{-Z} v v \omega w$, 毒性最大的 $\alpha, \alpha PPP$ 毒性当量在 $w \sim x w \times \chi w^{-Z} v v \omega w^{\theta x \kappa}$ 。造纸工业是近几年来发现的新的、重要的二 ■ 英类化合物的污染源。在其污泥中, $y, z, \Delta, E-\alpha PPP$ 的含量不等, 浓度从 $1 v v \omega w$ 级至数百个 $1 v v \omega w$ 。施用污泥改良的土壤 ϕPPP 总浓度升高, 出现累积现象。但也有报道指出, 在各种施用污泥的田间试验中, 土壤中 $\phi PPPvT$ 的浓度在检测限 $w\omega\omega\omega \mu v v \omega w$ 以下 ^{$\theta y \kappa$} , 没有出现 $\phi PPPvT$ 的累积。这与污泥中 ϕPPP 的含量及土壤性质等因素有关。

$xw\omega$ 大气迁移与尘埃沉降

目前, 多数学者认为空气中含有 $\phi PPPvT$ 颗粒物的悬浮运动是一种最重要的迁移机理。 $xZ\Delta\Delta$ 年 $\phi^0\chi^{\theta z \kappa}$ 等人首次报道了在荷兰产生飞灰中发现 $\phi PPPvT$ 化合物。 $\Pi^9 \pi\chi^1 \xi$ 和 $\Phi\chi^8 \sigma\tau^{\theta \Delta \kappa}$ 分析了几个

基金项目: 本研究受国家 $Z\Delta\kappa$ 项目 $\Upsilon.xZZZ\omega\omega xE$ 资助

* 通讯联系人

收稿日期 $HZZZ-x y-\omega w$

地区的湖泊和海湾的底泥,发现其含量与燃烧飞灰中的含量相似,因此指出燃烧飞灰的大气迁移,是这些湖泊和海湾底泥中二■英类化合物的主要来源。 $s_1 \sigma \sigma s_1 \xi_2^{\theta B \kappa}$ 等则认为,大气降尘向土壤输入的 $\phi PPPvT_1$ 远比施用污水污泥重要。亚热带和温带区域土壤中的大气沉降量可达 $\Gamma x w \mu v v o_1 y \cdot \xi p$ 。全球总沉降量估计为 $xy B a v w v \xi^{\theta \Gamma \kappa}$ 。

$x w u A$ 废弃物的堆放

化学制造过程,特别是苯氧乙酸除草剂、氯酚、 ϕPO_1 生产中的化学废弃物,其中 $\phi PPPvT_1$ 的含量很高。我国用农药六六六无效体生产氯代苯,废渣中 $\phi PPPvT_1$ 含量相当高,根据年废渣排放量及 $\phi PPPvT_1$ 的平均含量计算, $\phi PPPvT_1$ 年生成量约为 $x B u \Gamma s$, 其中, $y, z, \Delta, E - \alpha PPP$ 的含量约为 $x \Delta v$ 。为当前最大 $\phi PPPvT_1$ 的污染源。这些废弃物若不能妥善处理,随意堆放,易通过渗漏、地表径流而进入土壤,将给环境造成污染。

$x u y$ 土壤中二■英类化合物的残留

对土壤进行检测发现,土壤 ϕPPP_1 含量一般在 $w \kappa \sim A A_1 y \Gamma^2 v v w v$ 之间。一般而言,越靠近污染源,土壤和沉积物中的 $\phi PPPvT_1$ 的含量越高。其中最多的是 $\Phi \sigma_1 s \xi - PPP_1$ 和 $\phi \pi s \xi \mu PPP_1$ 同分异构体。

$P \chi \rho_3 s_1 \sigma_2 \chi \Gamma^3 \theta \Delta \kappa$ 等测量了 $s \sigma_0 \sigma_1 s$ 若干场所土壤 αPPP 的垂直分布,发现 αPPP 含量最高的土壤不是最表层(与光降解与生物降解有关),而多在 $w v B \sim x u v \pi_1$ 或 $x u v \sim x u B \pi_1$ 深处,随着土壤深度的继续增加, αPPP 的含量急剧减少。也有人认为 $Z w \%$ 以上的 $\phi PPPvT_1$ 存在于土壤表层的 $w \sim x v \pi_1$, 其中 $B \sim x v \pi_1$ 土层的浓度最高。但在污染严重的土壤,在佛罗里达州,在受 αPPP 污染 $x w \sim x y$ 年后,在表层 $x B \pi_1$ 深处以上的土壤,即使是砂土,仍然保持了 $x u B \times x w^{-Z} v v w v$ 的 αPPP 的含量。据瑞典 $\Pi u \rho \sigma \delta \chi^{\theta E \kappa}$ 的调查,即使在沉积岩中也发现了 $\phi PPPvT_1$ 的存在,顶部 $A \pi_1$ 处含量最高,以下下降并达到一低水平。

y 土壤中二■英类化合物的迁移转化规律

$y w$ 土壤对二■英类化合物的吸附固定

随各种途径进入土壤中的二■英类化合物(尤其 αPPP),由于其高吸附系数,极易被有机质含量高的土壤颗粒所吸附。 $\rho \chi \rho \xi^s \rho$ 发现土壤吸附与低馏分有机碳($T \phi \Pi$)的等温线呈线性关系 $^{\theta Z \kappa}$ 。在水体沉积物中有机质对 $\phi PPPvT_1$ 的吸附机制存在着两种假说。由于 $\phi PPPvT_1$ 化合物的亲脂性及其非极性结构,对

颗粒态有机碳($\phi \phi \Pi$)和溶解态有机碳($P \phi \Pi$)具有较强的亲合性。 $\phi \phi \Pi$ 和 $P \phi \Pi$ 的增加,将导致自由态的 $\phi PPPvT_1$ 的减少。第一种假说认为吸附作用发生于有机质的微孔中,因而被有机质团聚体所包围,在这种情况下,吸附作用比较持久。另一种假说是 $\phi PPPvT_1$ 直接溶于有机基质中,而被强烈吸附。两种假说都认为范德华力是主要的作用力 $^{\beta \pi \kappa}$ 。

$y u y$ 土壤中二■英类化合物的迁移

土壤中的二■英类化合物可随风和侵蚀作用、土壤基质的吸着作用、人和动物的活动因素而进一步污染深部土壤。 $\Omega \xi_1 \chi \xi^{\theta x \kappa}$ 等的研究表明,复合污染和扩散介质对 αPPP 的迁移影响很大。 αPPP 最初的移动取决于载体溶剂(如废石油)的体积及其粘性、土壤的孔隙度、 αPPP 在载体与土壤间的分配系数 $^{\theta z \Gamma^2 \Delta \kappa}$ 。值得一提的是,一般情况下,土壤中的二■英类化合物只限于很小的范围内移动。在无外界干扰下, $x B$ 个月只有 $x u B \%$ 的二■英类化合物从污染层往下迁移 $y B^2_1$ 。但对被木材防腐油污染场所土壤中的研究结果表明, $\phi PPPvT_1$ 会污染油相饱和的地下土层,进而影响地下水的质量 $^{\beta \gamma \kappa}$ 。

土壤中的 $\phi PPPvT_1$ 也有向上迁移的趋势。二■英类化合物有相对较低的蒸汽压(αPPP 为 $A u B \times x w^{-\Gamma}$ 帕斯卡),在夏季可从土壤表层挥发而损失(尤其是二氯代二■英),气固相比取决于温度和空气中的粒子数 $^{\theta Z \kappa}$ 。曾检测到相对较高含量的气相 $\phi PPPvT_1$ 四氯和五氯取代物。关于土壤中二■英类化合物的挥发作用尚未清楚。一般而言,高氯的二■英类化合物比低氯的挥发慢,事实上总体而言,土壤中 $\phi PPPvT_1$ 的挥发作用是很小的,几乎可以忽略。

$y u \kappa$ 土壤中二■英类化合物的降解及转化

$\phi PPPvT_1$ 在土壤环境中稳定、持久,在自然环境中自净的可能性很小。研究认为,在深层土壤中 αPPP 的半衰期可能大于 $x w$ 年 $^{\theta x \kappa}$, $\phi PPPvT_1$ 经光解和生物降解到一定值时,就保持不变,并主要集中在 $x v \pi_1$ 深度的土壤中。底泥中的二■英也能长期稳定。目前,土壤中 $\phi PPPvT_1$ 降解途径、机制是研究的热点之一,并获得了一定的进展。

$y u \kappa w$ 二■英类化合物的光降解

光降解是 $\phi PPPvT_1$ 降解的主要途径,一旦有合适的光波 o 太阳光近紫外部分 p 和合适的氢给予体, ϕPPP_1 就会迅速降解,而且氯取代数越小,光解速度越快。主要的降解途径是脱氯反应,以 $\Pi - \Pi$ 键断裂为主。因此,在其脱氯的过程中,将伴随着众多的低氯

取代物存在。但实验也证实,在 III_A 这种不含氢给予体的溶剂中 ϕPPP 也能发生光化学反应并降解生成氯代苯 $^{\theta_{x\Delta\kappa}}$,以 $\text{II}-\phi$ 键断裂为特征。

吸附在干燥固体土壤中的 ϕPPP 光解反应主要是在 x, A, Γ, Z 等邻位而非侧位上的反应 $^{\theta_{\Delta}, xB\kappa}$ 。而 $\epsilon\chi^0\sigma^6$ 和 $\Phi\sigma^0\sigma^6s\theta_{x\Gamma\kappa}$ 研究 ϕPPP 光降解行为中指出,在溶液中, ϕPPP 光降解脱氯主要发生在 $y\approx\Delta, E$ 的侧位上。在水和乙腈溶液中, $\phi_B\text{PPP}$ 和 $\Phi_{\Delta}\text{PPP}$ 光解的主要产物是极性化合物,可能发生了碳氧键断裂,说明光解反应相当复杂。

由于土壤的透光性差,二■英在土壤中的迁移又慢,导致二■英只在很薄的表层土壤中才发生降解。用太阳光辐射土壤 $x\Delta\rho$ 后, ϕPPPvT_7 降解率为 $yB\%$ $\sim z\omega\%$,降解深度为 $\omega\omega\sim\omega\iota B^{1-1}\theta_{x\Delta\kappa}$ 。张志军 $^{\theta_{x\Delta\kappa}}$ 等利用 $B\alpha\omega\delta$ 中压汞灯(最大发射波长为 $z\text{I}B^{2-1}$,最短波长为 $yB\omega^{2-1}$)研究了 $y s z$ -二氯代二■英($P\text{PPP}$)、 $y\approx\Delta, E-\alpha\text{PPP}$ 、 $x, y\approx\Delta, E-\phi\sigma\text{PP}$ 和 ϕPPP 在干燥土壤中的紫外光解,结果表明,降解反应在 $y\varphi$ 内基本完成,但降解深度只有 $\omega\kappa\epsilon\gamma\Delta^{1-1}$ 。

根据光降解的 $\Upsilon\Pi$ 分析($\gamma_4-yz\sim x$ 型毛细管柱),氯仿溶液中 ϕPPP 光降解脱氯的主要七氯产物为无毒体 $x, y, z, A, \Gamma, \Delta, Z-\Phi_{\phi}\text{PPP}$,有毒体 $x, y, z, A, \Gamma, \Delta, E-\Phi_{\phi}\text{PPP}$ 则居次要地位。因此,认为如果对光解加以控制,有毒二■英会变成无毒的非 y, z, Δ, E -取代的同系物 $^{\theta_{x\Delta\kappa}}$ 。

γκ ιγ 二■英类化合物的微生物降解

土壤中的 ϕPPPvT_7 对微生物降解具有很强的抵抗力。但 $\Omega\sigma\xi^6_{2\sigma_3}\theta_{xZ\kappa}$ 等在美国马里兰州的土壤上添加了 $y s z s \Delta s E-\alpha\text{PPP}$,经 $\omega\sim zB\upsilon\rho$ 后,分别调查其在土壤中的残留量,结果得知,经约一年时间,有 $z\omega\%\sim AA\%$ 的上述物质得到分解,认为土壤及其中的微生物可以分解二■英,只是分解效率低且需要较长的时间。目前研究认为仅有 $A\%$ 的微生物菌种能降解 $\alpha_A\text{PPP}$ 。因此,进一步深入研究二■英的微生物降解,寻找优势菌种有重要意义。一般试验结果是:一氯代二■英比较容易降解,二至四氯代二■英能够降解,但降解量很少;随着氯原子数目的增加,降解更为困难。已分离出一氯二■英降解产物,鉴定为二醇,由于二醇能抑制使苯环破裂所需的氧化酶类,从而难以发生进一步的降解。另据报道,土壤中的白枯真菌如显金孢子菌属(${}_4\varphi\xi^2\sigma^6{}_3\pi\varphi\xi^6\sigma\pi\varphi^6{}_3{}^{7374}{}_3{}_6\chi^9{}_1$)s能将 ϕPPPvT_7 矿化为 $\text{P}\phi_y$ 。

γκ ικ 二■英类化合物的化学降解

有关 ϕPPPvT_7 在土壤中的化学降解的报道很少。王连生的研究结果表明, $y\approx\Delta, E-\alpha\text{PPP}$ 在水和 III_A 混合液中,通入臭氧 $B\omega\varphi$ 后,其分解率为 $Z\Delta\%$ 。但没有有机溶剂中,臭氧能否分解土壤中的 ϕPPPvT_7 ,值得进一步研究。

z ■ 英类化合物在土—植界面的迁移转化

z ιω 植物的吸收和积累

植物对土壤中 ϕPPPvT_7 的吸收主要有两种不同的机制:土壤溶液的根部吸收和土壤表面挥发态 ϕPPPvT_7 的叶面吸收。此外,也可通过土壤颗粒粘附于叶面而被吸收。

$\epsilon\pi\text{I}\xi\rho_3\theta_{y\kappa\kappa}$ 等通过实验研究发现,培养溶液中 $\Delta\upsilon\%$ 的 $y\approx\Delta, E-\alpha_A\text{PPP}$ 被植物根部所吸收,因此一度认为土壤中的 ϕPPPvT_7 迁移到植物根部是人类食物链污染的主要来源。但田间实验研究发现,尽管植物的块茎表皮中的含量随土壤中 ϕPPPvT_7 含量的增加而有明显增加(非线性),如生长在受污染土壤中的胡萝卜皮中 ϕPPPvT_7 的含量比未受污染的高 $x\omega$ 倍 $^{\theta_{y\kappa\kappa}}$,块茎体内的 ϕPPPvT_7 受土壤含量影响不大,也就是说植物根部对土壤中的 ϕPPPvT_7 吸收不明显。

另外,植物根部即使含有一定量的 ϕPPPvT_7 也很难输送到地上部分。植物地上部分的 ϕPPPvT_7 并不主要来源于根部。对土壤中 ϕPPPvT_7 吸收的另一途径是植株对挥发态 ϕPPPvT_7 的吸收。

$\delta\chi\iota\tau$ 等分析了 $s\sigma^0\sigma^7{}_3$ 受污染严重的土壤中植物的积累情况(参见表 x) $^{\theta_{y\kappa\kappa}}$,认为植物对土壤中 ϕPPPvT_7 的吸收并不明显。

表x 植物中 αPPPvT_7 的蓄积情况($z\upsilon\upsilon\omega\upsilon$)		
植物种类	土壤 αPPPvT_7 浓度	植物中 αPPPvT_7 浓度
禾本科植物	$xB\omega$	y
银甜菜叶 ρ	$y\alpha\omega$	$\omega\iota Z$
小米	y	$\omega\iota Z$
鼠尾草叶 ρ	$z\Gamma$	B
花椰菜	$x\omega$	x
花椰菜叶 ρ	$x\omega$	x
菊苣	$x\omega$	$z\iota B$
卷心菜	$x\omega$	$\omega\iota\Delta$
草本植物	zE	$x\iota\Delta$
黄瓜	xB	$\omega\iota\Delta$

研究发现土壤中的 ϕPPPvT_7 的含量与水果的果核、果肉中的含量没有紧密相关,即使土壤中 $\alpha_A\text{PPP}$ 含量高达 $x\omega\alpha\alpha\omega^2\upsilon\upsilon\omega\upsilon s$ 苹果、梨、桃子中 $\alpha_A\text{PPP}$ 含量仍低于 $z\Delta^2\upsilon\upsilon\omega\upsilon$ 。其中 $ZB\%$ 的含量集中

于果皮中 θ_{yz}^{κ} 。与上述结论一致。

植株中的 $\phi PPPv T_7$ 含量大气尘降来源是主要的。植株的角质层是尘降亲脂化合物的有效库。在植株体内, $\phi PPPv T_7$ 可通过韧皮部运输。

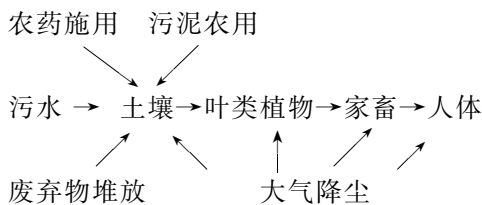
A 在食物链中的迁移转化及对人体健康的影响

土壤中的 $\phi PPPv T_7$ 可通过各种途径进入食物链,家畜消化受 $\phi PPPv T_7$ 污染的植物,是 $\phi PPPv T_7$ 从土壤向食物链转移的重要途径之一。同时,家畜也可直接消化粘附于植物上的污泥,而达到 $\phi PPPv T_7$ 的吸收和累积。

根据 ζ^{392v} 的动物实验研究,各种动物通过对 $\phi PPPv T_7$ 蓄积作用各不相同,有些动物组织中 αPPP_7 的平均浓度要略高于地表土壤中 αPPP_7 的平均浓度。这取决于有机体种类、有机体新陈代谢的能力、 $\phi PPPv T_7$ 分子的化学稳定性、动物的体表比以及食物的摄入量、摄取途径。食草动物易吸收 $\phi PPPv T_7$, 分布于肝脏、脂肪组织中。同时对 $y, z, \Delta, E - \alpha PPT$ 具有选择性保留的能力。

环境中二■英类化合物进入人体的主要途径有二,一是通过呼吸途径,二是通过食物链。调查表明,加拿大成人每天摄取二■英的量,有ZB%以上是通过食物摄取的,直接呼吸摄取的量不到z%,可见二■英通过食物链影响人体是最重要的途径。其中,yΓuZ%来自牛奶和奶制品,BAuA%来自肉制品,只有极少部分来自蔬菜。平均每天人体经由食物链的吸收量为 $yB_{1v} ysz s\Delta sE - \alpha PPP_{\theta y\Delta k}$ 。

用以下流程图大致表示土壤中的二■英类化合物在食物链的去向。



从分析加拿大和瑞士人体脂肪样品的数据看,在一般人体中 $\phi PPPv T_7$ 含量为 $x \sim \Gamma u\omega^2 v v \omega \omega$, 其中 ϕPPP 的含量极低,高毒性的 $y \approx \Delta E$ 异构体是主要成分。 ϕ_{23} 等发现 s 尽管海水中同时含有 ϕPPP_7 和 ϕPPT_7 , 但鲸鱼脂肪只能检测到 ϕPPT_7 的存在。因此,动物体有可能偏向于 ϕPPT_7 的吸收。但也有研究发现, $\phi PPPv T_7$ 在动物体内会发生生物转变,导致毒性的降低或稀释。

把含有 $\phi PPP_7 s$ 甚至 αPPP 浓度达 $Bu\omega \times x\omega^{-xy}$

的污泥(以干重计)施于土壤,对蚯蚓和松林的野生动物等没有毒害效应 θ_{yBk} 。但毒效应大小与 $\phi PPPv T_7$ 化合物的作用剂量及暴露时间有关,此外还依赖于动物种类、品系、年龄及性别等因素。因而,不能就此确定土壤环境中 $\phi PPPv T_7$ 的生态系统不产生负效应。有关这方面的研究有待进一步深入。

由于 αPPP 相对抑制新陈代谢,且易在人体中持留(人体内 αPPP 的半衰期为 $\Delta \sim x\omega$ 年)等原因,使得环境中的二■英易通过生物链的逐级浓缩聚集在人体组织中,这就增加了重复暴露,即便是低浓度也可以引起人体不利影响。依据动物实验知识,某些研究中已证明暴露于 αPPP 的人体会发生细微的生物化学和体质变化。二■英具有对人体新陈代谢和繁殖力不良影响的可能性。长期接触环境中低浓度的二■英类化合物能产生慢性中毒,中毒症状主要有皮肤色素沉着、激素活力异常、消化代谢功能紊乱、肝功能失调、中枢和周围神经功能紊乱,出现厌食、体重减轻、腹痛、神经衰弱和精神异常。专家建议人类不受伤害的极限值为 $x\omega \times x\omega^{-Z} v v \omega \omega \cdot \rho p$ 。

鉴于受污染土壤中的 $\phi PPPv T_7$ 对环境造成的不良影响,目前已有学者对土壤中的 $\phi PPPv T_7$ 含量作了限制,认为不应超过 $x \mu v v \omega \omega$ 。

B 结语

为提高土壤环境质量和保护土壤资源,消除对人体健康的影响,在现有的研究基础上,仍需进一步了解区域土壤 $\phi PPPv T_7$ 的污染源和污染现状,掌握其迁移转化规律、净化和积累消长趋势,以确定区域 $\phi PPPv T_7$ 的排放量,土壤中的最高允许浓度。根据 $\phi PPPv T_7$ 的降解特点,培养微生物菌种,结合农业生产措施,缩短其半衰期,促进受污染土壤的恢复重建。

参考文献H

- θ_{xk} 王连生 u 环境科学进展 $\theta \kappa u$ 北京H化学工业出版社.sxZZBuAEAu
- $\theta_{yK} s : \chi \varphi s - \varrho \sigma^8 \xi_0 u \Xi v^6 \chi \tau^{90896} \sigma^9 \sigma \pi_3 \pi \chi_2 v^3 \tau s \sigma^1 \xi v \sigma s^{99} \rho v \sigma \xi_2 \rho^8 \varphi \sigma$
 $\Sigma_2^0 \chi^{32} i \sigma^{28} u \alpha \varphi \sigma \beta^2 \chi^6 \rho \Omega \chi_2 v \rho_{11} u \Pi E O X_8 \sigma^6 \xi_2 \chi_2 \xi_0 u x Z Z B s$
 $y u \omega - y z \Gamma u$
- $\theta_{zK} s s \sigma^1 \varphi \sigma^{27} \rho P s \phi \sigma^6 \sigma \xi_7 \epsilon \epsilon s \Phi \xi_3 i \xi_0 \rho P T u O \chi_8 \sigma^{27} \tau \sigma^6 \xi_2 \rho$
 $o \chi_2 \xi \pi^{91} 90 \xi_8 \chi_2^2 3 \tau \rho \chi_2^2 \chi_2^7 \xi_2 \rho \rho \chi_0 \sigma^{243} \tau \sigma^6 \xi_2^7 \tau \sigma^3 i 73 \chi^6 \theta \chi_2 u$
 $\phi^0 v \xi^{23} \varphi \xi^{93} v \sigma^2 \Pi_6 i 4392 \rho^7 s x Z Z y s E H z \Delta \Delta u$
- $\theta_{Ak} T_6 \sigma \rho \Phi \alpha^7 \pi \varphi \chi^{90} s u P \chi_2^2 \chi_2^7 \theta \chi_2 u \Pi \varphi \sigma i 374 \varphi \sigma^6 \sigma s x Z E \Gamma s y B \omega y p H$
 $y x - y \Delta u$
- $\theta_{Bk} \phi \chi \Omega s \gamma \sigma^6 i \sigma^2 \sigma^2 P \partial u \Pi \varphi^{963} \rho \chi_0 \sigma^{243} - - P \chi_2^2 \chi_2^7 \xi_2 \rho$
 $P \chi_0 \sigma^{243} \tau \sigma^6 \xi_2^7 \xi_7 \alpha^6 \xi \pi \sigma \Pi_6 i 432 \sigma^{287} 3 \tau T_6 \Xi \varphi \xi_2 \rho T_9 \sigma \chi \xi_7 3 \tau$

