

# T/EERT

浙江省生态与环境修复技术协会团体标准

T/EERT 001—2019

全国团体标准信息平台

## 农用地土壤污染风险评估技术指南

Technical guideline for risk assessment of soil contamination of agricultural land

全国团体标准信息平台

2019 - 04 - 30 发布

2019 - 06 - 01 实施

浙江省生态与环境修复技术协会

发布

## 目 次

前言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 工作程序和内容 .....	3
5 危害识别技术要求 .....	4
6 有效浓度数据获取技术要求 .....	5
7 污染风险评判技术要求 .....	6
附录 A（规范性附录） 农用地土壤污染项目（基本项目）最小浓度取值范围 .....	7
附录 B（资料性附录） 污染项目对应无机盐推荐 .....	8
附录 C（规范性附录） 百分数计算数学模型 .....	9
附录 D（规范性附录） 有效浓度拟合模型 .....	10
附录 E（规范性附录） 物种敏感性分布拟合模型 .....	11
附录 F（规范性附录） 拟合优度评价模型 .....	12

## 前 言

为贯彻落实《中华人民共和国环境保护法》，保护农用地土壤环境，管控农用地土壤污染风险，保障农产品质量安全、农作物正常生长和土壤生态环境，制定本标准。

本标准规定了农用地土壤污染风险评估的原则、内容、程序、方法和技术要求。

本标准规定了针对农用地土壤中镉、汞、砷、铅、铜、镍、锌等基本污染项目，以及六六六、滴滴涕、苯并[a]芘等其他污染项目对农用地污染风险的评估方法及程序。

本标准由浙江省生态与环境修复技术协会组织制定。

本标准主要起草单位：国家环保部规划院、浙江工业大学、浙江工业大学工程设计集团有限公司、浙江益壤环保科技有限公司、常熟理工学院、绍兴文理学院、杭州云标天测信息科技有限公司。

标准起草人：李志涛、罗春晖、胡芬、黄涛、刘士励、吴骏、吕伯昇、胡保卫、徐娇娇、刘龙飞、郑彬、宋东平、周璐璐、李尚会、马学富。

本标准由浙江省生态与环境修复技术协会解释。



# 农用地土壤污染风险评估技术指南

## 1 范围

本标准规定了开展农用地土壤污染风险评估的原则、内容、程序、方法和技术要求。

本标准适用于耕地土壤污染风险评估和耕地土壤污染风险控制值的确定。园地和牧草地可参照执行。

本标准适用于镉、汞、砷、铅、铬、铜、镍、锌等基本污染项目及六六六总量、滴滴涕总量、苯并[a]芘等其它污染项目的风险评估。

本标准不适用于放射性物质污染、致病性生物污染以及建设用地土壤污染的风险评估。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 2762-2017 食品安全国家标准 食品中污染物限量

GB/T 3543.4-1995 农作物种子检验规程发芽试验

GB 15618-2018 土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准

GB/T 21010 土地利用现状分类

GB/T 36197-2018 土壤质量 土壤采样技术指南

GB/T 36199-2018 土壤质量 土壤采样程序设计指南

HJ 613-2011 土壤 干物质和水分的测定 重量法

HJ/T 166 土壤环境监测技术规范

NY/T 1377-2007 土壤PH的测定

ISO 11269-1-2012 Soil quality - Determination of the effects of pollutants on soil flora - Part 1: Method for the measurement of inhibition of root growth 土壤质量-污染物对土壤菌群影响的测定-第1部分：根系生长抑制的测量方法

ISO 17512-1-2009 Soil quality - Avoidance test for determining the quality of soils and effects of chemicals on behavior - Part 1: Test with earthworms (Eisenia Fetida and Eisenia Andrei) 土壤质量-回避试验测定土壤质量及化学品对行为效果影响-第1部分：蚯蚓试验（赤子爱胜蚓和赤子爱胜安德烈蚓）

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**土壤 soil**

指位于陆地表层能够生长植物的疏松多孔物质层及其相关自然地理要素的综合体。

## 3.2

**农用地 agricultural land**

指GB/T中的01耕地（0101水田、0102水浇地、0103旱地）、02园地（0201果园、0202茶园）和04草地（0401天然牧草地、0403人工牧草地）。

## 3.3

**农用地土壤污染风险 soil contamination risk of agricultural land**

指因土壤污染导致食用农产品质量安全、农作物生长或土壤生态环境受到不利影响。

## 3.4

**农用地土壤污染风险筛选值 risk screening values**

指农用地土壤中污染物含量等于或低于该值的，对农产品质量安全、农作物生长或土壤生态环境的风险低，一般情况下可以忽略；超过该值的，对农产品质量安全、农作物生长或土壤生态环境可能存在较高的风险，应当加强土壤环境监测和农产品协同监测，原则上应当采取安全利用措施。

## 3.5

**农用地土壤污染风险管制值 risk intervention values for soil contamination of agricultural land**

指农用地土壤中污染物含量超过该值的，食用农产品不符合质量安全标准等农用地土壤污染风险高，原则上应当采取严格管控措施。

## 3.6

**物种敏感性分布 species sensitivity distribution (SSD)**

描述不同物种对环境因子敏感性相互关系的数据分布。

## 3.7

**有效浓度 effective concentration ( $EC_x$ )**

指使生物产生x程度的胁迫反应或产生刺激效应的污染项目的特定浓度值。

## 3.8

**危害浓度 hazardous concentration ( $HC_p$ )**

指通过保护(100-P)%（其中P为污染物对生物的效应浓度小于等于 $HC_p$ 的概率）的物种免受污染物毒害的污染项目的特定浓度值。

## 3.9

**物种干量 species dry mass**

指在恒定温度条件下，生物质量实现恒重，不再随时间增加而变化。

## 3.10

**最大田间持水量** maximum field water holding capacity

指土壤所能稳定保持最高土壤含水量。

### 3.11

**蚯蚓回避** earthworm avoidance

蚯蚓对土壤环境变化刺激做出回避行为。

## 4 工作程序和内容

农用地土壤污染风险评估工作包括危害识别、有效浓度数据获取、污染风险评判。农用地土壤污染风险评估工作程序见图1。

### 4.1 危害识别

收集农用地土壤环境调查阶段获得的相关资料和数据,掌握农用地土壤分类、农用地土壤环境质量、污染物相关资料。明确农用地块布点采样方式,采集、监测样品,确定污染项目、土壤pH值、污染项目空间分布。

### 4.2 试验获得的有效浓度数据

设计并实施农用土壤污染项目浓度-效应试验,检测物种干量变化、根系伸长变化、蚯蚓回避变化,确定有效浓度 $EC_{10}$ 。

### 4.3 污染风险评判

在有效浓度数据基础上,进行物种敏感性分布分析,计算危险浓度 $HC_5$ 、 $HC_{50}$ 、 $HC_{95}$ ,基于在评判结论确定农用地土壤风险控制值。

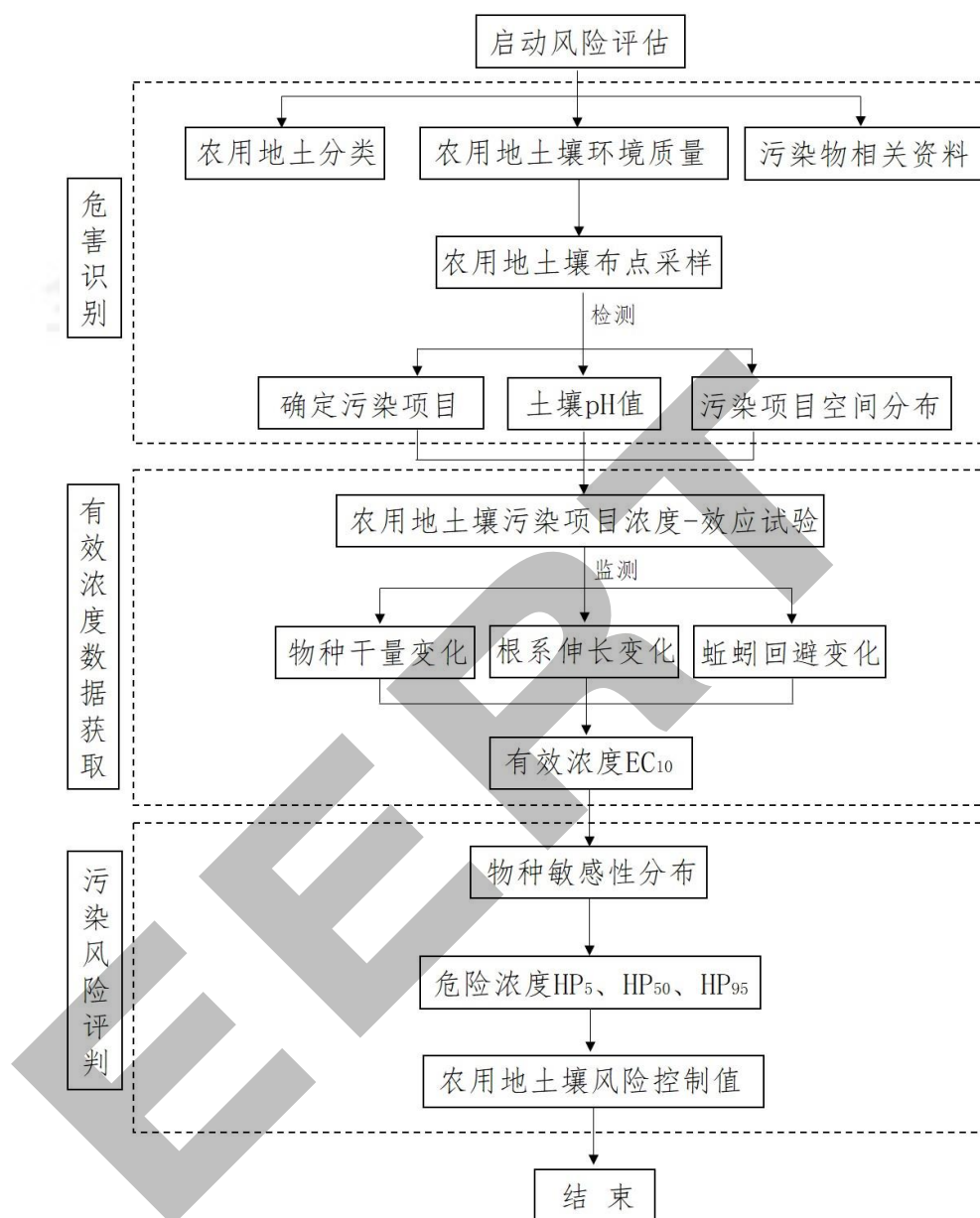


图1 农用地土壤污染风险评估工作程序

## 5 危害识别技术要求

### 5.1 收集、获取相关资料

按照GB/T 21010、HJ/T 166对农用地土壤污染进行调查，收集如下资料：

- 1) 农用地分类资料；
- 2) 农用地土壤环境质量资料；
- 3) 污染物及农用地土壤污染背景资料。

### 5.2 污染项目、污染项目空间分布、土壤 pH 确定

按照GB/T 36197-2018、GB/T 36199-2018、HJ/T 166对农用地土壤进行采样，按照HJ/T 166、GB 15618-2018对采样样品进行检测、记录、分析，确定污染项目和污染项目空间分布状况。按照NY/T 1377-2007测定农用地污染土壤pH。

## 6 有效浓度数据获取技术要求

### 6.1 农用地土壤污染项目浓度-效应试验土壤制备

农用地土壤污染项目浓度-效应试验土壤制备遵循如下3个步骤：

1) 依据农用地土壤危害识别结果（污染项目、土壤 pH），确定农用地土壤污染项目浓度取值范围。农用地土壤污染基本项目最小浓度取值范围见附件表 A1。农用地土壤污染基本项目最小浓度取值范围见附录表 A.1。若污染项目为基本项目，则必须进行农用地土壤污染项目风险评估。若污染项目为其他项目，由地方环境保护主管部门根据本地土壤污染特点和需求进行选择。污染项目浓度取值范围应等于或包含农用地土壤污染项目最小浓度取值范围且浓度取值数应等于或大于 10。

2) 依据农用地土壤危害识别结果（污染项目空间分布），按照 GB/T 36197-2018、GB/T 36199-2018、HJ/T 166 采取本次农用地土壤危害风险评估区域中未受污染项目污染的同区域土壤作为污染项目浓度-效应试验的试验土壤。或按照 GB/T 36197-2018、GB/T 36199-2018、HJ/T 166 采取本次农用地土壤危害风险评估区域相邻区域的土壤理化性质接近的未受污染土壤作为试验土壤。本标准中，所含污染项目检测浓度均低于 GB 15618-2018 标准中对应污染项目风险筛选值 0.2 倍数值的农用地污染土壤即为农用地未受污染项土壤。

3) 按照农用地土壤的 65%-75%最大田间持水量，分别向土壤中喷施含有不同浓度污染项目的模拟液，充分搅拌均匀，平衡 14 天，制备得不同浓度污染项目处置的试验土壤。模拟液由去离子水溶解对应污染项目盐获得。适用于本标准的对应污染项目盐见附录表 B.1。

### 6.2 物种干量变化监测

物种干量变化监测遵循如下3个步骤：

1) 我国主要粮食作物以水稻和小麦为主，耕地土壤污染对食用农产品质量安全影响最为关注的也是水稻和小麦。因此本标准中物种特指小麦与水稻。供试水稻品种基于国家水稻数据中心或其它国家级农作物数据分享数据库历年审定的当地典型或当地优势品种进行选择，品种数等于或大于 15。供试小麦品种基于种质数据库或其它国家级农作物数据分享数据库选择国内优质或当地典型或当地优势品种小麦，品种数等于或大于 15；

2) 按照标准 GB/T 3543.4-1995 对所选择不同品种的水稻和小麦进行农作物种子检验规程发芽试验。待水稻和小麦出苗，取出苗株，用清水将根系轻轻洗净，然后选择长势一致的苗移栽至装有未受污染项土壤（对照组）和试验土壤的培养箱（盆栽）或田间小区。对于同一农用地土壤污染风险评估项目，不同批次水稻、小麦的培养技术及条件要求相同，但不针对具体条件及技术参数做要求；

3) 苗株培养 28 天后，用清水将植株完全洗净。然后按照标准 HJ 613-2011 对植株进行烘干、称重。按照附件等式 C.1 计算相对物种干量百分数（%）。

### 6.3 根系伸长变化监测

根系伸长变化监测遵循如下3个步骤：

1) 供试水稻、小麦选择遵循 6.2 物种干量变化监测步骤 1) 要求；

2) 供试水稻、小麦发芽试验遵循 6.2 物种干量变化监测步骤 1) 要求；



3) 按照标准 ISO 11269-1-2012 培养供试水稻、小麦植株, 监测植株根系生长, 每组试验设置 3 个重复组。按照附件等式 C.2 计算相对根系生长百分数 (%)。

#### 6.4 蚯蚓回避变化监测

按照标准 ISO 17512-1-2009 进行不同浓度污染项目影响下的蚯蚓回避试验, 监测蚯蚓回避变化。试验蚯蚓选择当地典型或优势蚯蚓品种, 蚯蚓品种数等于或大于 15。每组试验设置 3 个重复组。按照附件等式 C.3 计算蚯蚓回避率 (%)。

#### 6.5 有效浓度 $EC_{10}$ 确定

在胁迫情况下, 按照附录等式 D.1 拟合并分别计算有效浓度  $EC_{10}$  值。在低剂量刺激情况下, 按照附录等式 D.2 拟合并分别计算有效浓度  $EC_{10}$  值。其中, 等式 D.1 和 D.2 的  $x$  输入值为污染项目各浓度设置值, 等式 D.1 和 D.2 的  $x$  输入值为相对物种干量百分数 (%)、相对根系生长百分数 (%)、蚯蚓回避率 (%)。

### 7 污染风险评判技术要求

按照附录等式 E.1-E.4 进行物种敏感性分布 (SSD) 分布拟合。依据拟合结果, 按照附录等式 F.1-F.3 及附录 F 中 K-S 检验方法选择拟合度最优的分布函数作为最终 SSD 分布拟合应用函数。F(x) 分别取值 95%、50%、5% 代入最终 SSD 分布拟合应用函数, 分别解出  $HP_5$ 、 $HP_{50}$ 、 $HP_{95}$  值。比较  $HP_5$  与 GB 15618-2018 标准中农用地土壤污染风险筛选值, 若  $HP_5$  小于或等于农用地土壤污染风险筛选值, 则选择  $HP_{95}$  与 GB 15618-2018 标准中农用地土壤污染风险控制值中较小的数值作为污染项目的污染风险最终管制值。比较  $HP_5$  与 GB 15618-2018 标准中农用地土壤污染风险筛选值, 若  $HP_5$  大于农用地土壤污染风险筛选值, 则选择  $HP_{95}$  与 GB 15618-2018 标准中农用地土壤污染风险控制值中较大的数值作为污染项目的污染风险最终管制值。对于农用地农作物污染限值超过标准 GB 2762-2017 中对应污染限量且农用地土壤 pH 小于或等于 3, 推荐以  $HP_{50}$  为污染项目的污染风险最终管制值。

附录 A  
(规范性附录)

农用地土壤污染项目（基本项目）最小浓度取值范围

表A.1 农用地土壤污染项目（基本项目）最小浓度取值范围

单位为毫克每千克

序号	外掺污染物项目		外掺浓度取值范围			
			pH≤5.5	5.5<pH≤6.5	6.5<pH≤7.5	pH>7.5
1	镉	水田	0.1~4.5	0.1~6	0.2~9	0.25~12
		其他	0.1~4.5	0.1~6	0.1~9	0.2~12
2	汞	水田	0.15~6	0.15~7.5	0.2~12	0.3~18
		其他	0.4~6	0.5~7.5	0.5~12	1~18
3	砷	水田	10~600	10~450	8~360	6.5~300
		其他	10~600	10~600	10~360	8~300
4	铅	水田	25~1200	30~1500	45~2100	80~3000
		其他	20~1200	30~1500	40~2100	55~3000
5	铬	水田	80~1200	80~1500	100~2100	115~3000
		其他	50~1200	50~1500	65~2100	80~3000
6	铜	果园	50~2400	50~2550	65~3000	65~3900
		其他	15~2400	15~2550	30~3000	30~3900
7	镍		20~3600	20~4200	30~6000	60~11400
8	锌		65~10000	65~10000	80~12500	100~15000

表A.2 农用地外掺土壤污染项目（其他项目）最小浓度取值范围

单位为毫克每千克

序号	外掺污染物项目	外掺浓度取值范围
1	六六六总量	0.3~10
2	滴滴涕总量	0.3~10
3	苯并[a]芘	0.15~55

注：注外掺六六六项目可为 $\alpha$ -六六六、 $\beta$ -六六六、 $\gamma$ -六六六、 $\delta$ -六六六四种异构体中的任意一种或任意组合总量；  
外掺滴滴涕为p, p'-滴滴伊、p, p'-滴滴滴、o, p'-滴滴涕、p, p'-滴滴涕四种衍生物任意一种或任意组合总量。

附 录 B  
(资料性附录)  
污染项目对应无机盐推荐

表B.1 污染项目对应无机盐

序号	污染项目	污染项目盐	分子式	规格
1	镉	硫酸镉	$\text{CdSO}_4$	AR、GR
		氯化镉	$\text{CdCl}_2$	
		硝酸镉	$\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$	
		乙酸镉	$\text{Cd}(\text{CH}_3\text{COO})_2$	
2	汞	乙酸汞	$\text{Hg}(\text{CH}_3\text{COO})_2$	AR、GR
		高氯酸汞	$\text{Hg}(\text{ClO}_4)_2$	
3	砷	砷化铝	$\text{AlAs}$	AR、GR
4	铅	乙酸铅(II)	$\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$	AR、GR
5	铬	铬酸钠	$\text{Na}_2\text{CrO}_4$	AR、GR
		铬酸钾	$\text{K}_2\text{CrO}_4$	
6	铜	硫酸铜	$\text{CuSO}_4$	AR、GR
		硝酸铜	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$	
		氯化铜	$\text{CuCl}_2$	
7	镍	硫酸镍	$\text{NiSO}_4$	AR、GR
		氯化镍	$\text{NiCl}_2$	
8	锌	硫酸锌	$\text{ZnSO}_4$	AR、GR
		氯化锌	$\text{ZnCl}_2$	
		乙酸锌	$\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$	

附 录 C  
(规范性附录)  
百分数计算数学模型

C.1 相对物种干量百分数 (%)

$$y_1 = \frac{m_x}{m_0} \times 100\% \dots\dots\dots (C.1)$$

式中： $y_1$ 为污染项目各浓度影响下的物种干量与对照处理的物种干量的百分比，即物种胁迫反应产生的相对物种干量百分数(%)； $m_0$ 为对照组处理的小麦或水稻物种干量； $m_x$ 为污染项目的浓度值(mg/L)为x的试验土壤处理的小麦或水稻的物种干量。

C.2 相对根系生长百分数 (%)

$$y_2 = \frac{L_x}{L_0} \times 100\% \dots\dots\dots (C.2)$$

式中： $y_2$ 为污染项目各浓度影响下的植株根系生长与对照处理的植株根系生长的百分比，即物种胁迫反应产生的相对根系生长百分数(%)； $L_0$ 为对照组处理的小麦或水稻根系生长量(cm)； $L_x$ 为污染项目的浓度值(mg/L)为x的试验土壤处理的小麦或水稻的根系生长量(cm)。

C.3 蚯蚓回避率 (%)

$$y_3 = \frac{N_x}{N_0} \times 100\% \dots\dots\dots (C.3)$$

式中： $y_3$ 为污染项目各浓度影响下的蚯蚓回避数量与对照处理的蚯蚓回避数量的百分比，即物种胁迫反应产生的蚯蚓回避率(%)； $N_0$ 为对照组处理的蚯蚓回避数量； $L_x$ 为污染项目的浓度值(mg/L)为x的试验土壤处理的蚯蚓回避数量。

附 录 D  
(规范性附录)  
有效浓度拟合模型

D.1 对数-逻辑分布模型 Log-logistic distribution

$$Y = \frac{y_0}{1 + e^{a(x-M)}} \dots\dots\dots (D.1)$$

式中：Y为 $y_1$ 、 $y_2$ 、 $y_3$ ； $y_0$ 、 $a$ 为拟合的参数； $x$ 为不同处理模拟液中污染项目的浓度值（mg/L）； $M$ 为 $EC_{10}$ 或 $EC_{50}$ 的自然对数值。

D.2 Hormesis剂量反应数据拟合 Hormesis dose-response data fitting

$$Y = \frac{b + cx}{1 + \left[ \frac{k}{100-k} + \left( \frac{100}{100-k} \right) \frac{cd}{b} \right] e^{f \ln\left(\frac{x}{d}\right)}} \dots\dots\dots (D.2)$$

式中：Y为 $y_1$ 、 $y_2$ 、 $y_3$ ； $x$ 为不同处理模拟液中污染项目的浓度值（mg/L）； $b$ 、 $c$ 、 $d$ 、 $f$ 为方程参数。当 $k$ 为10、50时，参数 $d$ 定义为 $EC_{10}$ 、 $EC_{50}$ 。

附 录 E  
(规范性附录)  
物种敏感性分布拟合模型

E.1 柏迪III分布 Burr III distribution

$$F(x) = \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{g}{x}\right)^h\right]^k} \dots\dots\dots (E.1)$$

式中：F(x)为累计分布值（0~1）；x为有效浓度（EC<sub>10</sub>或EC<sub>50</sub>）；g、h、k为柏迪III分布函数参数。

E.2 对数-正态分布Log-normal distribution

$$F(x) = \frac{1}{x\sqrt{2\pi\ln(\sigma)}} e^{-\frac{[\ln(x)-\ln(\mu)]^2}{2[\ln(\sigma)]^2}} \dots\dots\dots (E.2)$$

式中：F(x)为累计分布值（0~1）；x为有效浓度（EC<sub>10</sub>或EC<sub>50</sub>）；μ为分布参数-均值；σ为分布参数-标准差。

E.3 对数-逻辑分布模型 Log-logistic distribution（用于SSD拟合）

$$F(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x-i}{j}\right)^{-l}} \dots\dots\dots (E.3)$$

式中：F(x)为累计分布值（0~1）；x为有效浓度（EC<sub>10</sub>或EC<sub>50</sub>）；i、j、l为对数-逻辑分布模型参数，分别代表着分布的位置、尺度和形状参数。

E.4 伽马分布 Gamma distribution

$$F(x) = \frac{\left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}}{\Gamma(\alpha)\beta} \dots\dots\dots (E.4)$$

式中：F(x)为累计分布值（0~1）；x为有效浓度（EC<sub>10</sub>或EC<sub>50</sub>）；α和β为伽马分布模型参数，分别代表分布的形状参数和尺度参数。

附 录 F  
(规范性附录)  
拟合优度评价模型

F.1 决定系数 (coefficient of determination,  $R^2$ )

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n \left( y_i - \frac{\sum_{i=1}^n y}{n} \right)^2} \dots\dots\dots (F.1)$$

式中： $R^2$ 为决定系数，取值范围是[0, 1]， $y_i$ 为第*i*种品种的实测有效浓度，mg/kg； $\hat{y}_i$ 为第*i*种品种的预测有效浓度，mg/kg； $n$ 为有效浓度数据数量。当 $R^2$ 大于0.6具有统计学意义， $R^2$ 越接近1，说明拟合优度越大，模型拟合越精准。

F.2 均方根 (room mean square errors, RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}} \dots\dots\dots (F.2)$$

式中：RMSE为观测值与真值偏差的平方值与观测次数比值的平方根（均方根）， $y_i$ 为第*i*种品种的实测有效浓度，mg/kg； $\hat{y}_i$ 为第*i*种品种的预测有效浓度，mg/kg； $n$ 为有效浓度数据数量。RMSE又称回归系统的拟合标准差，RMSE在统计学意义上可反映出模型的精确度，RMSE越接近于0，说明模型拟合的精确度越高。

F.3 残差平方和 (sum of squares for error, SSE)

$$SSE = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \dots\dots\dots (F.3)$$

式中：SSE为实测值和预测值之差的平方和， $y_i$ 为第*i*种品种的实测有效浓度，mg/kg； $\hat{y}_i$ 为第*i*种品种的预测有效浓度，mg/kg； $n$ 为有效浓度数据数量。SSE又称误差项平方和，反映每个样本各个预测值的离散状况，SSE越接近于0，说明模型拟合的随机误差效应越低

F.4 K-S检验 (kolmogorov - smirnov test)

基于累积分布函数，用于检验一个经验分布是否符合某种理论分布，它是一种拟合优度检验。通过K-S检验来验证分布与理论分布的差异时，若*P*值（即概率，反映两组差异有无统计学意义， $P > 0.05$ 即差异无显著性意义， $P < 0.05$ 即差异有显著性意义）大于0.05，证明实际分布曲线与理论分布曲线不具有显著性差异，通过K-S检验，可反映模型符合理论分布。