

ACEF

中华环保联合会团体标准

T/ACEF×××-××××

场地生态安全土壤环境基准制定技术指南

Technical guideline for deriving site soil environmental criteria for
ecological safety

(征求意见稿)

××××-×-×发布

××××-×-×实施

中华环保联合会 发布

目 次

目 次	II
前 言	III
1 适用范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 场地生态安全土壤环境基准制定程序	3
5 场地资料收集与现场调研	3
6 场地土壤生态毒性数据获取	4
7 场地生态安全土壤环境基准值推导	11
8 质量控制与质量评价	15
9 不确定性分析	16
10 场地生态安全土壤环境基准技术报告编制	17
附录 A 场地生态安全土壤环境基准受试生物推荐名录	18
附录 B 污染土壤的生态毒理学和生物测试标准化方法	19
附录 C 常用的生态毒性数据库及文献数据库	21
附录 D 物种敏感性分布曲线拟合函数与拟合优度评价方法	22
附录 E 场地生态安全土壤环境基准技术报告编制大纲	24

前 言

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》和《中华人民共和国土壤污染防治法》，防治土壤污染，保护生态环境，科学、规范地制定场地生态安全土壤环境基准，制定本标准。

本标准规定了制定场地生态安全土壤环境基准的程序、方法与技术要求，适用于我国场地土壤污染物生态风险评估工作。

本标准首次发布。

本标准主要起草单位：中国环境科学研究院、南开大学、中国科学院生态环境研究中心。

本标准主要起草人：马瑾、屈雅静、刘奇缘、吴颐杭、胡献刚、侯红、王晓南、李娜、陈海燕、赵文浩。

本标准中华环保联合会 20□□年□□月□□日批准。

本标准自 20□□年□□月□□日起实施。

本标准由起草单位负责解释。

场地生态安全土壤环境基准制定技术指南

1 适用范围

本标准规定了场地生态安全土壤环境基准研究制订的工作程序、内容、方法与技术要求。

本标准适用于我国住宅用地(城市住宅与农村住宅)、公园绿地(自然绿地与城市公园)、商服/工业用地 3 类用地方式下化学污染物的场地生态安全土壤环境基准的研究制订。

本标准不适用于放射性物质的场地。

2 规范性引用文件

本标准引用了下列文件或其中的条款。凡是不注日期的引用文件，其有效版本适用于本标准。

GB/T 31270 化学农药环境安全评价试验准则

GB/T 35514-2017 化学品 线蚓繁殖试验

HJ 25.1 建设用地土壤污染状况调查技术导则

HJ 813-2022 淡水生物水质基准推导技术指南

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

土壤环境基准 soil environmental criteria

在特定土地利用方式和保护水平下，推导土壤中某一种或一类化学污染物不会对人体健康和/或生态安全产生不良影响的理论阈值的理论、技术和方法的统称。

3.2

场地生态安全土壤环境基准 site soil environmental criteria for ecological safety

在特定土地利用方式和保护水平下，推导场地土壤中某一种或某一类化学污染物不会对生态安全产生不良影响的理论阈值的理论、技术和方法的统称。其表现形式为场地生态安全土壤环境基准值。

3.3

生态保护水平 ecological protection level

根据不同土地利用方式下土壤生态服务功能重要性所确定的生态受体或生态过程保护的程 度，通常介于 50%到 95%之间。

3.4

本土物种 Chinese native species

不受人为因素干扰，完全靠自然因素栖息在某一特定区域的生物类群。

3.5

预测无效应浓度 predicted no effect concentration, PNEC

污染物不会对生物产生不可接受效应的最大环境浓度。

3.6

x%效应浓度 effect concentration for x% effect, EC_x

与对照相比，在给定暴露期内对给定终点产生 x%影响的某一受试物质的浓度。

[GB/T 35514-2017，术语和定义 3.1]

3.7

x%物种危害浓度 hazardous concentration for x% of species, HC_x

根据物种敏感度分布，受影响物种的累积概率达到 x%时的污染物浓度，即 (100-x)% 的物种免受影响的污染物浓度。

[HJ 813-2022，术语和定义 3.17]

3.8

半数致死浓度 median lethal concentration, LC₅₀

在给定时间内造成 50%的受试生物死亡的受试物浓度。

[GB/T 35514-2017，术语和定义 3.3]

3.9

最低观察效应浓度 lowest observed effect concentration, LOEC

对受试物种产生统计学意义上的显著效应 ($p < 0.05$) (如增长率、繁殖率抑制等) 的最低受试物浓度。

[GB/T 35514-2017，术语 3.5，有修改]

3.10

无观察效应浓度 no observed effect concentration, NOEC

与对照组相比，在给定的暴露条件下，对受试物种未产生任何毒性效应 (如增长率、繁殖率抑制等) 的最高受试物浓度。

[GB/T 35514-2017，术语 3.6，有修改]

3.11

物种敏感性分布 species sensitivity distribution, SSD

描述不同物种对某一污染物的敏感性差异遵循的概率分布规律。

3.12

评估因子 assessment factor, AF

由有限物种毒性外推到生态系统过程中产生的不确定性的安全因子。

[HJ 813-2022, 术语和定义 3.18]

3.13

二次中毒 secondary poisoning

污染物通过食物链传递和积累，从而对鸟类和哺乳动物等高等生物产生毒性作用的影响。

4 场地生态安全土壤环境基准制定程序

场地生态安全土壤环境基准制订的工作程序见图 1，工作内容包括场地资料收集与现场调研、场地土壤生态毒性数据获取、场地生态安全土壤环境基准值推导、不确定性分析、场地生态安全土壤环境基准技术报告编制以及质量控制 6 个部分。

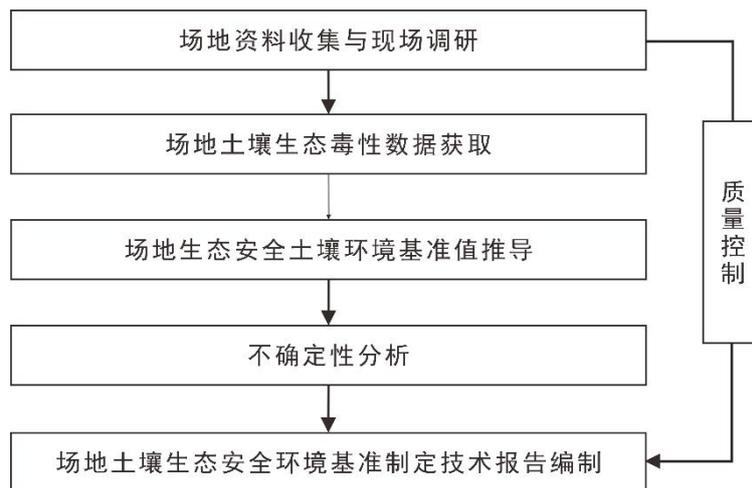


图 1 场地生态安全土壤环境基准制定程序

5 场地资料收集与现场调研

5.1 资料收集与分析

依据 HJ 25.1 对场地进行环境调查，收集场地利用变迁资料、场地环境资料、场地相关记录、有关政府文件、以及场地所在区域的自然和社会信息等，获得以下信息：

- (1) 较为详尽的场地相关资料及历史信息；
- (2) 场地及周边区域土地利用方式等相关信息；
- (3) 场地土壤污染记录、土壤样品中污染物浓度等数据资料；
- (4) 由政府机关和权威机构所保存和发布的环境资料；
- (5) 场地环境监测数据、环境影响报告书或表、环境审计报告和地勘报告等记录；

(6) 场地(所在地)地理位置图、地形、地貌、土壤、水文、地质和气象资料等自然信息;

(7) 场地(所在地)人口密度和分布,经济现状和发展规划,相关的国家和地方的政策、法规与标准,以及当地地方性疾病统计信息等社会信息。

5.2 现场调研

在充分分析场地资料的基础上开展现场调研。通过现场调研了解场地及周围区域的现状,包括:

- (1) 可能造成土壤污染的物质使用、生产、贮存等;
- (2) 相邻场地的使用现状与污染源,以及过去使用中留下的可能造成土壤污染的异常迹象;
- (3) 周围区域目前或过去土地利用的类型,如住宅、商店和工厂等;
- (4) 场地污染物释放机制,以此确定场地中可能存在的生态受体,并判断是否存在二次中毒的影响。

6 场地土壤生态毒性数据获取

6.1 数据获取程序

数据获取主要包括国家或地方生态受体和生态过程统计资料收集、确定需要保护的生态受体和生态过程、生态毒性数据的收集、筛选和评价 5 个步骤,工作程序见图 2。

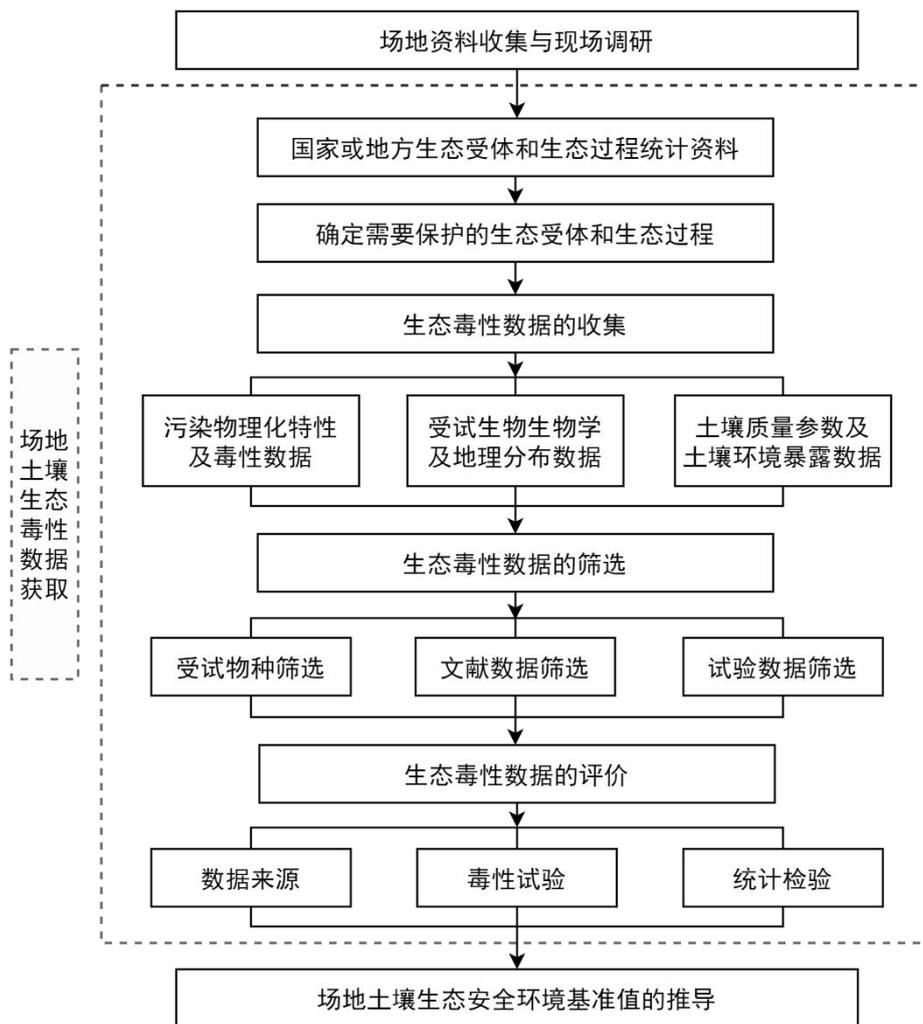


图 2 数据获取工作程序

6.2 国家或地方生态受体和生态过程统计资料分析

根据场地资料的收集和分析及场地现场调研，熟知场地污染物的生态环境问题（如赋存形态、环境行为、生物毒性及作用机制和环境暴露浓度等）和可能存在的生态受体，收集国家或地方生态受体和生态过程统计资料，在对生态受体和生态过程统计资料进行充分分析的基础上，确定需要保护的生态受体和生态过程，然后根据所确定需要保护的生态受体和生态过程，获取相应的生态毒性数据。

6.3 确定需要保护的生态受体和生态过程

6.3.1 确定要求

代表性物种主要包括土壤的生命体（陆生植物、土壤无脊椎动物、土壤微生物）和土壤生态过程（如硝化作用、有机质矿化等）。在特殊条件下，考虑哺乳动物和鸟类的间接暴露和污染物二次中毒。制定场地生态安全土壤环境基准需包含但不限于如下类型的重要土壤生态受体和生态功能：

(1) 陆生植物：至少 4 种本土主栽植物，如农作物和需要保护的野生植物等，需保证每种陆生植物的毒性数据量大于等于 4 个；

(2) 土壤无脊椎动物：至少 3 种本土无脊椎动物，或模式生物如蚯蚓、跳虫、螨虫、线虫等，需保证每种土壤无脊椎动物的毒性数据量大于等于 4 个；

(3) 土壤微生物和微生物主导的土壤生态过程：至少包括微生物生物量、土壤呼吸作用、土壤硝化作用，需保证每种土壤微生物和微生物主导的土壤生态过程的毒性数据量大于等于 4 个；

(4) 哺乳动物和鸟类：至少 3 种本土哺乳动物和鸟类，需保证每种哺乳动物和鸟类的毒性数据量大于等于 4 个。

6.3.2 毒性终点的选择

制定场地生态安全土壤环境基准时，优先选择可能影响生态受体（个体或种群）特性的慢性毒性指标或亚致死毒性指标。

(1) 对于陆生植物，选择生物量、根伸长等；

(2) 对于土壤无脊椎动物，选择繁殖率、种群数量和生长率等；

(3) 对于土壤微生物和微生物主导的土壤生态过程，选择微生物生物量、土壤呼吸作用和土壤硝化作用等；

(4) 对于哺乳动物和鸟类选择死亡、生长和生殖等。

6.3.3 毒性效应数据的选择

制定场地生态安全土壤环境基准时，毒性效应数据的选择应遵循以下原则：

(1) 污染物实测浓度毒性数据优先于污染物理论浓度毒性数据；

(2) 同一物种有不同毒性终点的，选择最敏感的毒性终点的毒性参数；

(3) 同一毒性终点有多个效应指标时，慢性毒性数据的优先性为 $EC_{10} > EC_{20} > NOEC > LOEC > EC_{50} > LC_{50}$ ；急性毒性数据通常为 LC_{50} 或 EC_{50} ，不区分优先性。或通过建立 EC_{10} 与 EC_{20} 或 EC_{50} 之间的回归模型将其转换为 EC_{10} ；

(4) 同一毒性终点有多个效应浓度（如 EC_{10} 、 EC_{20} 、 EC_{50} 等）时，优先采用或通过建立 EC_{10} 与 EC_{20} 或 EC_{50} 之间的回归模型将其转换为 EC_{10} ；

(5) 同一物种的不同品种有多个 EC_{10} 时，取其几何平均值。

6.4 生态毒性数据收集

6.4.1 数据分类

(1) 污染物基本信息。包括物质名称、分子量、CAS 号、EINECS 号、UN 编号等；

(2) 污染物固有的理化特性数据。包括熔点、沸点、蒸汽压、亨利常数、电离常数、溶解度、挥发度、辛醇-水分配系数、化学平衡常数、土壤-水分配系数、半衰期等；

(3) 污染物对土壤生物的毒性数据；

(4) 受试生物的生物学及地理分布数据。包括受试生物的学名、常用名、拉丁名、分类地位、生活习性、栖息地特征、地理分布区域等；

(5) 与污染物毒性相关的我国土壤质量参数数据。包括温度、pH 值、有机质、阳离子和阴离子交换量、黏粒含量等；

(6) 污染物土壤环境暴露数据。

6.4.2 数据来源

(1) 国家或地方发布的实测或调查数据；

(2) 有明确数据来源的国内外生态毒性数据库；

(3) 场地土壤生态毒性试验获得的实测数据；

(4) 经同行评议公开发表的文献或报告；

(5) 经专家判断可靠的其他来源数据；

(6) 在基准制定过程中补充测试的物种毒性数据。

6.5 生态毒性数据筛选

6.5.1 受试物种筛选

(1) 受试物种具有生态相关性，应能反映我国土壤生物区系特征，能充分代表土壤中不同生态营养级别及其关联性，或具有重要经济价值或娱乐用途，以栖息或分布于我国境内的代表性土壤生物为优选对象；

(2) 受试物种在场地暴露于污染物的程度和机制已知（在场地停留时间、暴露途径和类型、生活范围）；

(3) 受试物种对污染物质应具有较高的敏感性及毒性反应的一致性；

(4) 受试物种的毒性反应有规范的测试终点和方法，能适当度量终点效应的可能性（如生物多样性变化、数量变化）；

(5) 受试物种的生态毒理学和生活史数据具有可用性（优先选择生态毒理学数据容易获得的受体）；

(6) 当采用野外捕获物种进行毒性测试时，应确保该物种未曾接触过目标污染物；

(7) 有害的外来入侵物种不应作为受试物种，其他对我国自然生态系统有明确危害的土壤生物也不应作为受试物种；

(8) 对于我国珍稀或濒危物种、特有物种，应根据国家野生动物保护的相关法规选择性使用作为受试物种。

6.5.2 数据库或文献收集的生态毒性数据筛选

(1) 应能根据文献资料确定测试生物暴露于土壤污染物的时间和毒性指标，并可根据剂量-效应关系估算毒性效应浓度 EC_x ，如 EC_{10} ；

(2) 文献中应记录开展毒性实验的条件，包括土壤 pH、有机质、黏粒含量、土壤温度变化和老化时间等，并应同时提供了土壤污染物的实际浓度和添加浓度；

(3) 用于研究环境条件（如土壤温度变化）对土壤污染物生态毒性影响的实验数据可以采用；

(4) 陆生植物、无脊椎动物和土壤生态过程的相关生态毒性数据应分类评估。

6.5.3 生态毒性实验毒性数据筛选

6.5.3.1 实验设计

(1) 室内生态毒性实验或野外的生物测试应优先考虑我国的本土模式生物，在不具备足量本土生物研究的情况下可等效采用经济合作与发展组织（OECD）或国际标准化组织（ISO）推荐的模式生物；

(2) 室内生态毒性实验或野外的生物测试按照我国发布的相关国家标准方法（GB/T 21809、GB/T 31270 等）开展；在无相关国家标准方法的情况下，可等效采用经济合作与发展组织（OECD）或国际标准化组织（ISO）的标准方法；

(3) 实验应避免存在关注污染物之外其它因素的显著干扰；

(4) 毒性效应数据 EC_x 应通过适宜的统计分析方法获得；

(5) 土壤污染物的测定必须采用标准化的分析测试方法；

(6) 当使用野外毒性数据时，除满足上述要求外，还应同时满足以下条件：a) 效应数据必须来自同一地区同一研究实验周期，并有供试土壤理化性质数据；b) 样品采集、处理和保存应按照相关标准方法的要求进行；c) 野外试验设计具备科学性，应设平行、对照组，采样过程应避免交叉污染等。

6.5.3.2 实验试剂

(1) 应明确试剂的准确名称及化学品登记号（CAS）。当试剂为无机盐时，应说明实验结果的试剂物质化学形态；

(2) 试剂纯度应满足我国国家标准规定（一般应 $\geq 95\%$ ），否则应进行专家判断，并根据试剂纯度对实验数据进行校正或采用实测浓度。

6.5.3.3 受试生物

(1) 应说明受试生物的拉丁名称、生命阶段、来源（实验室、野外），野外获取的应说明获取物种的具体地理位置；

(2) 实验开始前，应将受试生物在实验条件下进行驯养，标准受试生物在驯养期间的死亡率应符合测试方法要求，非标准受试生物的驯养死亡率最大不能超过 10%；

(3) 不能采用单细胞动物作为受试生物。

6.5.3.4 暴露条件

(1) 应根据污染物的理化性质选择适宜的实验系统（开放式、半开放或全封闭等），对于在实验体系中不稳定的物质（半挥发性、挥发性物质等），实验过程中应对其暴露浓度进行测定；

(2) 实验系统应符合受试生物的生存特点，环境条件应根据受试生物的生存要求稳定在一定范围内；

(3) 实验暴露途径与暴露条件应与受试生物的自然生存条件一致；

(4) 毒性实验系统的生物负荷应符合或接近标准测试方法的规定。

6.6 场地土壤生态毒性数据评价

6.6.1 推导基准数据可靠性评估

筛选后的生态毒性数据，应对每一项进行评估质量和适用性评分。每项数据根据 10 个具体的研究评估标准进行评分（表 1），评估标准采用三分制，每项数据的最高分数是 18 分。如果一项数据的得分低于 11 分，则不采用该数据。

表 1 陆生植物和无脊椎动物的生态毒性数据评估标准

序号	评估标准	评估依据与方法	得分
1	数据来源	a.符合标准原则且报告所有测试参数的实验数据	2 分
		b.文献或数据库的原始数据	1 分
		c.二次来源	0 分
2	生物有效性	a.使用生物有效性高或很高的天然土壤进行试验	2 分
		b.使用生物有效性中等的天然土壤，或是使用人工土壤进行试验	1 分
		c.使用生物有效性低或很低的天然土壤进行试验	0 分
3	受试生物的来源	a.受试生物的来源和条件已知，且有详细的描述	2 分
		b.说明不够详尽的非商品化生物，或是商品化生物的信息不全	1 分
		c.受试生物来自污染场地，或是无法说明受试生物的商业来源	0 分
4	实验室/野外实验设计及记录	a.实验设计合理，统计分析方法正确	2 分
		b.实验设计基本合理，但有不足，统计分析方法正确	1 分
		c.实验设计与现实条件不相符	0 分
5	实验物质浓度	a.对污染物的实验浓度进行了准确测定	2 分
		b.仅给出加标物质的浓度，没有进行实际浓度测定	1 分
		c.未报告实验物质浓度或其他情况	0 分
6	污染物加药过程与要求	a.描述了全部污染物加药过程，包括污染物形态加药载体载体处理方式土壤与污染物混合过程。	2 分
		b.只说明了上述和过程	1 分
		c.未提供详细信息且无法反推	0 分
7	对照实验的有效性	a.完全按照标准化步骤进行实验，且对照组实验结果符合标准文件要求，或没有标准文件时对照组的的结果在可以接受的范围之内	2 分
		b.没有给出对照组的的结果或结果不明确	1 分
		c.对照组的的结果不在可以接受的范围之内	0 分
8	慢性毒性或生命周期试验	a.慢性毒性试验	2 分
		b.急性毒性试验	1 分
		c.极短期的暴露试验	0 分
9	剂量-效应关系	a.EC ₁₀ 和 EC ₂₀ 之间，或 NOEC 与 LOEC 之间相差小于 3 倍	2 分
		b.NOEC 和 LOEC 之间相差大于 3 倍，但小于 10 倍	1 分
		c.没有给出 EC _x 值，或 NOEC 和 LOEC 之间相差大于 10 倍，或仅给出 NOEC 和 LOEC 两者中的一种	0 分
10	统计检验	a.在 $p=0.05$ 的水平或 EC _x 的 95%置信区间内使用了方差分析	2 分

	(ANOVA) 或统计学方法	
	b.使用了方差分析, 但没有给出 p 值或 $p > 0.05$, 或是有 EC_x 值, 但没有给出 95%或 90%的置信区间	1 分
	c.没有给出 NOEC、LOEC 或 EC/LC_x 值, 或是有这些值但没有给出计算方法	0 分

6.6.2 二次中毒数据可靠性评估

若存在对哺乳动物和鸟类的二次中毒影响, 则需要推导二次中毒条件下的场地生态安全土壤环境基准值。已筛选的哺乳动物和鸟类毒性数据, 应对每一项数据进行评估质量和适用性评分 (表 2), 对于同一个物种, 根据数据评分规则算出最终得分, 如果总分数小于 65 分, 则不采用该数据。

表 2 哺乳动物和鸟类的生态毒性数据评估标准

序号	评估标准	评估依据与方法	得分
1	数据来源	a.原始数据	10
		b.二次来源	0
2	污染物形态	a.污染物的形态已知, 并且与土壤中形态相同或相似	10
		b.污染物的形态与吸收、或生物活性无关	10
		c.污染物的形态已知, 但与土壤中形态不同	5
		d.不报告污染物的形态	4
3	试验物质浓度	a.试验物质浓度报告为实际测量值、验证加标值和/或灌胃试验给药剂量	10
		b.仅给出加标物质的浓度, 没有进行实际浓度测定	5
		c.未报告检测物质浓度	0
4	剂量化	a.给药剂量报告为 mg/kg (体重) (包括这些单位报告的灌胃试验给药剂量)	10
		b.需要计算给药剂量, 提供摄入量和体重	7
		c.需要计算给药剂量, 只提供摄入量或体重 (如果是灌胃试验, 则提供摄入量)	6
		d.需要根据估计的摄入量和体重来计算给药剂量	5
		e.不能根据所提供的资料计算给药剂量	0
5	剂量范围	a.确定了 EC_{10} 和 EC_{20} , 或 NOEC 和 LOEC; 两个值的倍数在 3 以内	10
		b.确定了 NOEC 和 LOEC; 两个值的倍数在 10 以内	8
		c.没有 EC_x 值, 或确定了 NOEC 和 LOEC; 两个值的倍数不在 10 以内	6
		d.只确定了 NOEC 或 LOEC 两者中的一种	4
		e.研究缺少一个合适的对照组	0
6	给药途径	a.污染物加在食物中 (包括母乳)	10
		b.其他口服途径 (经胃灌输或通过胶囊)	8
		c.污染物加在饮用水中	5
		d.没有饮食, 其他口服或饮用水, 或者没有报告, 或者选择了经过处理和未经	0

		处理的食物或水	
7	毒性终点	a.报告的终点是生殖或种群效应	10
		b.报告终点为致死率（慢性或亚慢性暴露）	9
		c.报告的终点是增长减少	8
		d.报告的终点是器官功能、行为或神经功能的亚致死改变	4
		e.报告的终点是与健康关系不明的暴露生物标志物	1
8	暴露持续时间	a.暴露时间包括受试物种的多个生命阶段	10
		b.暴露时间至少是受试物种预期寿命的 0.1 倍，或发生在一个关键的生命阶段	10
		c.暴露时间小于受试物种预期寿命的 0.1 倍，并使用多剂量或多浓度	6
		d.暴露时间小于受试物种预期寿命的 0.1 倍，并只使用单一剂量或浓度	3
		e.急性暴露或未报告暴露持续时间	0
9	统计检验	a.至少有 90% 的机会看到具有生物学意义的差异	10
		b.可获得 EC _x 或 NOEC 和 LOEC	10
		c.至少有 75% 的机会看到具有生物学意义的差异	8
		d.至少有 50% 的机会看到具有生物学意义的差异	6
		e.检测到具有生物学意义差异的机会少于 50%	3
		f.只可获得 NOEC；确定研究统计检验的报告数据不足	1
10	试验条件	a.遵循标准指导原则并报告所有测试参数	10
		b.并未遵循指导原则，但报告了所有测试参数	10
		c.遵循标准指导原则，但不报告测试参数	7
		d.没有遵循标准指导原则，报告了部分测试参数	4
		e.没有报告任何测试参数	2

6.6.3 评估可靠性数据不足时处理方式

(1) 开展相应环境毒理学试验补充毒性数据，可以使用推荐使用的我国本土受试生物，也可使用符合受试物种筛选的我国其他本土生物，试验方法参见国家标准测试方法（参见附录 B）或其他可靠测试方法或文献；

(2) 对于模型预测获得的毒性数据，经专家判断为可靠数据后可作为参考数据。

7 场地生态安全土壤环境基准值推导

7.1 推导原理

根据生态受体营养级、生态毒性数据类型及数据量的多少等情况，选择不同的数据外推方法估算场地生态安全土壤环境基准值。

(1) 当有足够的毒性效应数据（通常指有 10-15 个以上，包含至少 8 个不同生物种类的毒性效应数据 EC_x），优先选用毒性效应浓度 EC₁₀ 及物种敏感性分布法（Species Sensitivity

Distribution, SSD) 进行毒性数据外推估算 $PNEC_{soil}$ 。

(2) 当生物种类和营养级别单一, 毒性数据为 NOEC、LOEC 或 LC/EC₅₀ 且生态毒性数据量较少 (不足 10 个) 时, 可采用评估因子法 (Assessment Factor, AF) 进行毒性数据外推, 以便在必要时制定污染物的生态安全土壤环境基准临时值, 待毒性数据量足够时, 仍需按照 SSD 外推法对基准值进行修订。

(3) 在场地中污染物可能通过以下食物链进行传递和积累, 则考虑哺乳动物和鸟类的二次中毒影响。对哺乳动物和鸟类等高等生物产生二次中毒作用的食物链包括:

土壤—植物—食草动物—食肉动物;

土壤—无脊椎动物—以无脊椎动物为食的哺乳动物和鸟类。

7.2 推导程序

包括选取有效生态毒性数据、选取基准值外推方法、模型拟合与评价、物种危害浓度计算和基准值的确定等步骤, 推导程序见图 3。

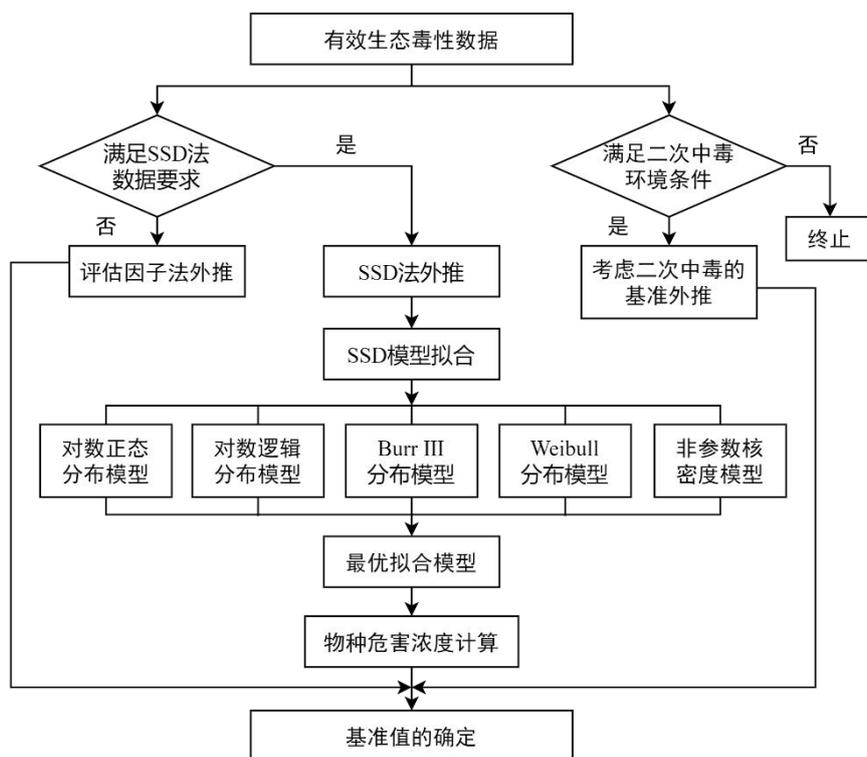


图 3 场地生态安全土壤环境基准推导程序

7.3 物种敏感性分布法推导基准值

7.3.1 毒性效应标准化

在采用 SSD 法拟合不同生态受体或生态过程的毒性效应参数 (优先选用 EC₁₀) 分布曲线前, 需将同一物种或同一品种在不同土壤条件下的生态毒性效应参数进行归一化 (土壤性质为 pH=7.0, CEC=15 cmol/kg, 有机碳含量 OC=1.5%, Clay=35%)。数据按公式 (1) 进

行归一化：

$$EC_x^{std} = EC_x^1 \times 10^{a \times (pH^{std} - pH^1) + b \times \log\left(\frac{CEC^{std}}{CEC^1}\right) + c \times \log\left(\frac{SOC^{std}}{SOC^1}\right)} \quad (1)$$

式中： EC_x^{std} ——标准土壤条件下的 x% 效应浓度；

pH^{std} ——标准土壤条件下的土壤 pH；

CEC^{std} ——标准土壤条件下的土壤阳离子交换率；

SOC^{std} ——标准土壤条件下的土壤有机质含量；

EC_x^1 ——试验土壤条件下的 x% 效应浓度；

pH^1 ——试验土壤条件下的土壤 pH；

CEC^1 ——试验土壤条件下的土壤阳离子交换率；

SOC^1 ——试验土壤条件下的土壤有机质含量。

7.3.2 拟合模型选取

选用 Log-normal、Log-logistic、Burr III、Weibull 参数函数及非参数核密度函数分别对归一化到不同土壤条件下的 EC_{10} 进行拟合。拟合软件推荐使用“国家生态环境基准计算软件 物种敏感度分布法”。不同拟合函数及拟合优度的评价方法见附录 D。

7.3.3 拟合模型评价

根据模型拟合优度评价参数评价模型的拟合度，评价参数包括：

- (1) 决定系数 (R^2)。通常 R^2 须大于 0.6, R^2 越接近 1, 表明拟合优度越大；
- (2) 均方根 (RMSE)。RMSE 越接近于 0, 表明模型拟合的精确度越高；
- (3) 残差平方和 (SSE)。SSE 越接近于 0, 表明模型拟合的随机误差效应越低；
- (4) 概率 p 值 (K-S 检验)。 p 值大于 0.05, 表明拟合通过 K-S 检验, 模型符合理论分布。

根据拟合评价结果, 优先根据 RMSE 评价结果, 结合专业判断, 确定最优拟合模型, 所选择的最优拟合模型应能充分描绘数据分布情况, 确保根据拟合的 SSD 曲线外推得出的场地生态安全土壤环境基准值在统计学上具有合理性和可靠性。

7.3.4 基准值推导

依据确定的最优拟合模型, 取 y 值为某一累积频率数值, 计算获得对应的 x 值, 则 x 的反对数 (10^x) 为对应的物种危害浓度。不同用地方式下的生态物种及生态过程保护水平和物种危害浓度见表 3。

(1) 制定公园用地方式下生态安全土壤环境基准值时, 若需要将短期效应毒性数据外推到慢性毒性数据、将实验室数据外推到野外并考虑测试生物种内和种间的差异, 可根据实际情况将危害浓度除以 1-5 的安全系数得到 $PNEC_{soil}$ 值; 制定住宅和商服及工业用地方式下生态安全土壤环境基准值时, 不考虑安全系数。

(3) 安全系数与曲线拟合时采用的毒性效应水平、污染物的活性以及用地方式有关。对于公园用地, 当同时满足: ①毒性效应水平为 EC_{10} ; ②毒性试验开展前土壤经过长时间

老化或淋溶处理两个条件时，安全系数取 1。以上任意一个条件不满足时，安全系数的取值应当根据试验或模型（老化效应试验、淋溶模型等）来决定，在无试验或模型的情况下需要根据专家判断来确定。

表 3 不同用地方式下的生态物种及生态过程保护水平和物种危害浓度

土地利用类型	保护水平	物种危害浓度
自然绿地用地	80%的生态物种和生态过程	HC ₂₀
城市公园用地	70%的生态物种和生态过程	HC ₃₀
农村住宅用地	65%的生态物种和生态过程	HC ₃₅
城市住宅用地	60%的生态物种和生态过程	HC ₄₀
商服/工业用地	50%的生态物种和生态过程	HC ₅₀

7.4 评估因子法推导基准值

选择毒性数据的最低值，根据表 4 所列情况选择相应的评估因子（AF），用毒性数据最低值除以评估因子估算 $PNEC_{soil}$ 值。

表 4 评估因子 AF 取值

有效信息	评价因子
至少有一个营养级生物（如植物、蚯蚓或微生物）的短期毒性试验 LC/EC ₅₀	1000
只有一个营养级生物（如植物）的长期毒性试验 NOEC	100
有两个营养级生物的两个长期 NOECs	10
有三个营养级三种生物的长期 NOECs	10*
已知物种敏感性分布曲线（SSD 法）	5-1（根据现场情况确定）
现场数据或模拟生态系统下得到的数据	根据现场情况确定

7.5 二次中毒条件下推导基准值

二次中毒表现为鸟类和哺乳动物的食物中的污染物浓度（mg/kg）或不产生影响的饮食摄入（NOEC, mg/kg）。优先选择以死亡、生长和生殖为终点的长期慢性毒性研究。考虑二次中毒的情况下，基于捕食者的食物中污染物浓度推导 $PNEC_{soil}$ 的计算过程如公式（2）：

$$PNEC_{oral} = \frac{TOX_{oral}}{AF_{oral}} \quad (2)$$

式中： $PNEC_{oral}$ ——鸟类和哺乳动物污染物二次中毒的预测无效应浓度，mg/kg；

TOX_{oral} ——通过食物产生不良效应的相关（无）效应浓度；

AF_{oral} ——外推 $PNEC_{oral}$ 时应用的评估因子。

表 5 鸟类和哺乳动物数据外推中涉及的评估因子

TOX _{oral}	试验周期	AF _{oral}
鸟类 LC ₅₀	5 天	3000
鸟类 NOEC	慢性	30
哺乳动物 NOEC	28 天	300
	90 天	90
	慢性	30

取不同物种 $PNEC_{oral}$ 的最低值为场地生态安全土壤环境基准值 $PNEC_{soil}$ 。

7.6 基准值的确定

(1) 以 SSD 外推获得的 $PNEC_{soil}$ 值作为场地生态安全土壤环境基准值。

(2) 当现有数据不能满足 SSD 外推法时，也可使用评估因子法外推获得的 $PNEC_{soil}$ 作为场地生态安全土壤环境基准临时值。

(3) 场地生态安全土壤环境基准值保留小数点后 2 位数字，最多保留 4 位有效数字，单位为 mg/kg。

8 质量控制与质量评价

8.1 质量控制

场地生态安全土壤环境基准的研究制订过程中应确保数据资料来源的可靠性、数据处理的规范性及推导方法的科学性，并符合如下质量控制要求。

8.1.1 场地资料收集与现场调研阶段

(1) 应先对确定的场地进行资料收集，资料收集工作可能详尽地开展，避免遗漏；

(2) 通过资料调研，现场调研的人员应熟悉基准制定技术规范及相关样品采集技术规范，通过现场调研对收集的资料进行修正补充。

8.1.2 数据收集与筛选阶段

(1) 数据检索人员应具备数据检索知识和技能，包括数据的类别、含义、毒性数据库和文献数据库的使用、数据筛选方法等；

(2) 确定数据筛选结果时，应要求数据筛选人员全面展示所获得的本标准规定的各类数据信息，并说明数据剔除的方法和原则以及每类或每条数据被剔除的原因；

(3) 确定进行基准值推导的数据，应符合本标准第 6 章数据评价要求，并列出了所有数据的每项评分及评分说明；

- (4) 对于影响基准定值的关键数据，应至少由 2 人对数据的来源和可靠性进行核实；
- (5) 实测毒性数据的获取应遵照标准测试方法，开展自测毒性试验的人员应具备标准测试方法知识和技能，包括试验设计、试验过程和结果的质量控制以及对试验结果的统计分析方法等；
- (6) 通过土壤生态毒性试验获取实测数据时，可针对某几类代表性场地展开基础研究工作，但相关试验设计应科学、规范，符合本标准 5.2 和 5.3 条的要求，并附有试验方法和过程记录；
- (7) 不存在遗漏本标准中要求的生态毒理数据；
- (8) 所用效应浓度值不存在与实际情况明显不符的离群值或异常数据，并经过充分科学论证。

8.1.3 基准值推导阶段

- (1) 基准制定人员应具备基准推导方法的知识和技能，熟知基准推导的原理并掌握推导方法的使用；
- (2) 生态毒性数据量应满足相应评价方法的技术要求，并选择相应的推荐推导方法；
- (3) 生态安全土壤环境基准值的推导方法不局限于本标准推荐方法，其它经充分科学论证的推导方法也可使用，并附有科学论证的过程文件；
- (4) 未达到上述质量控制要求的基准，应分析查验不符合要求的环节，重新按照本标准规定进行生态安全土壤环境基准的研究制订。

8.2 质量评价

8.2.1 评价指标

包括基准推导的合规性、文献数据的可靠性和自测数据的有效性等。

8.2.2 评价准则

- (1) 基准制定的步骤和流程应符合技术规范要求，包括纳入物种的营养级别和类群、基准推导方法和模型等；
- (2) 采用的文献数据应真实、有效、可靠，符合技术规范中关于数据收集、筛选和评价的规定；
- (3) 自测毒性试验应参照国际或国家标准毒性测试方法开展，试验结果具有统计学意义并符合测试方法中试验有效性的相关规定。

9 不确定性分析

应对基准制定过程中的不确定性进行定性分析，不确定性的产生涉及数据获取、模型选择、基准推导等相关步骤，具体包括但不限于数据来源、检索方案、数据筛选与评价、受试物种的代表性、毒性数据校正、SSD 拟合模型评价、评估因子取值以及考虑二次中毒条件下的推导方法等。

10 场地生态安全土壤环境基准技术报告编制

场地生态安全土壤环境基准应附有技术报告，技术报告的主要内容包括：研究制订目标污染物场地生态安全土壤环境基准的重要性和必要性、国内外相关研究进展、目标污染物的生态环境问题、生态毒性数据的获取、基准的推导、质量控制和不确定性分析等，技术报告编制大纲见附录 E。

附录 A
(资料性附录)

场地生态安全土壤环境基准受试生物推荐名录

序号	受试生物	物种拉丁名	分类	
土壤无脊椎动物				
1	蚯蚓	<i>Eisenia fetida</i>	环节动物门	正蚓科
		<i>Eisenia andrei</i>		
2	蜗牛	<i>Fruticicolidae</i>	软体动物门	蜗牛科
3	跳虫	<i>Folsomia candida</i>	节肢动物门	棘跳虫科
		<i>Folsomia fimetaria</i>		
4	线蚓	<i>Enchytraeus albidus</i>	环节动物门	线蚓科
5	线虫	<i>Caenorhabditis elegans</i>	线虫动物门	小杆科
6	蠕虫	<i>Hypoaspis aculeifer</i>	节肢动物门	厉螨科
7	昆虫类	<i>Oxythyrea funesta</i>	节肢动物门	
植物				
8	凤仙花	<i>Impatiens balsamina L.</i>	被子植物门	凤仙花科
9	蒲公英	<i>Taraxacum mongolicum Hand.-Mazz.</i>	被子植物门	菊科
10	燕麦	<i>Avena sativa L.</i>	被子植物门	禾本科
11	稗	<i>Echinochloa crus-galli (L.) P. Beauv.</i>	被子植物门	禾本科
12	落花生	<i>Arachis hypogaea Linn.</i>	被子植物门	豆科
13	紫苜蓿	<i>Medicago sativa L.</i>	被子植物门	豆科
14	绿豆	<i>Vigna radiata (Linn.) Wilczek</i>	被子植物门	豆科
15	草莓	<i>Fragaria ananassa Duch.</i>	被子植物门	蔷薇科
16	飞燕草	<i>Onagraceae Juss.</i>	被子植物门	毛茛科
17	益母草	<i>Leonurus japonicus Houtt</i>	被子植物门	唇形科
18	薄荷	<i>Mentha canadensis Linnaeus</i>	被子植物门	唇形科
微生物及其群落				
19	菌根真菌	<i>Glomus mosseae</i>	真菌	
20	球形节杆菌	<i>Arthrobacter globiformis</i>	细菌	节细菌属

附录 B
(资料性附录)

污染土壤的生态毒理学和生物测试标准化方法

编号	方法描述
GB/T 21759	化学品 慢性毒性试验方法
GB/T 21809	化学品 蚯蚓急性毒性试验
GB/T 21810	化学品 鸟类日粮毒性试验
GB/T 21811	化学品 鸟类繁殖试验
GB/T 27851	化学品 陆生植物 生长活力试验
GB/T 27854	化学品 土壤微生物 氮转化试验
GB/T 27855	化学品 土壤微生物 碳转化试验
GB/T 31270.9	化学农药环境安全评价试验准则 第 9 部分：鸟类急性毒性试验
GB/T 31270.15	化学农药环境安全评价试验准则 第 15 部分：蚯蚓急性毒性试验
GB/T 31270.16	化学农药环境安全评价试验准则 第 16 部分：土壤微生物毒性试验
GB/T 32720	土壤微生物呼吸的实验室测定方法
GB/T 32723	土壤微生物生物量的测定 底物诱导呼吸法
GB/T 35514	化学品 线蚓繁殖试验
GB/T 35522	化学品 土壤弹尾目昆虫生殖试验
GB/T 39228	土壤微生物生物量的测定 熏蒸提取法
ISO 11268-1	Soil quality — Effects of pollutants on earthworms — Part 1: Determination of acute toxicity to <i>Eisenia fetida</i> / <i>Eisenia andrei</i>
ISO 11268-2	Soil quality — Effects of pollutants on earthworms — Part 2: Determination of effects on reproduction of <i>Eisenia fetida</i> / <i>Eisenia andrei</i>
ISO 11269-1	Soil quality — Determination of the effects of pollutants on soil flora — Part 1: Method for the measurement of inhibition of root growth
ISO 11269-2	Soil quality — Determination of the effects of pollutants on soil flora — Part 2: Effects of contaminated soil on the emergence and early growth of higher plants
ISO 14238	Soil quality — Determination of nitrogen mineralization and nitrification in soils and the influence of chemicals on these processes
ISO 14240	Soil quality - Determination of soil microbial biomass
ISO 15685	Soil quality — Determination of potential nitrification and inhibition of nitrification — Rapid test by ammonium oxidation
ISO 16072	Soil quality — Laboratory methods for determination of microbial soil respiration
ISO 16387	Soil quality — Effects of contaminants on Enchytraeidae (<i>Enchytraeus sp.</i>) — Determination of effects on reproduction
ISO 17155	Soil quality — Determination of abundance and activity of soil microflora using respiration curves
ISO 20963	Soil quality — Effects of pollutants on insect larvae (<i>Oxythyrea funesta</i>) — Determination of acute

	toxicity
ISO 22030	Soil quality — Biological methods — Chronic toxicity in higher plants
OECD 205	Avian Dietary Toxicity Test
OECD 206	Avian Reproduction Test
OECD 207	Earthworm, Acute Toxicity Test
OECD 208	Terrestrial Plant Test: Seedling Emergence and Seedling Growth
OECD 216	Soil Microorganisms: Nitrogen Transformation Test
OECD 217	Soil Microorganisms: Carbon Transformation Test
OECD 220	Enchytraeid Reproduction Test
OECD 222	Earthworm Reproduction Test (<i>Eisenia fetida</i> / <i>Eisenia andrei</i>)
OECD 227	Terrestrial Plant Test: Vegetative Vigour Test
OECD 452	Chronic Toxicity Studies

附录 C

(资料性附录)

常用的生态毒性数据库及文献数据库

C.1 常用的生态毒性数据库

- (1) 美国环保署 (USEPA) 的“生态毒性数据库 (ECOTOX)”, <https://cfpub.epa.gov/ecotox>;
- (2) 荷兰国立公共健康与环境研究所 (RIVM) 的“e-toxBase”, <http://www.e-toxbase.com>;
- (3) 欧洲化学品管理局 (ECHA) 的“国际统一化学品信息数据库 (IUCLID)”, <https://iuclid6.echa.europa.eu>;
- (4) Elsevier 公司的“ECOTOX-CD”, <https://www.elsevier-ecotox.com>;
- (5) 中国科学院生态环境研究中心的“化学物质毒性数据库 (Chemical Toxicity Database)”, <https://www.drugfuture.com/toxic/>。

C.2 常用的文献数据库有

- (1) 中国知网 (CNKI), <http://www.cnki.net/>;
- (2) 万方数据库, www.wanfangdata.com.cn;
- (3) 维普数据库 (VIP), <http://www.cqvip.com/>;
- (4) 中国科学引文数据库 (CSCD), <http://sdb.csd.l.ac.cn/index.jsp>;
- (5) 中国生物医学文献数据库 (CBMDisc), <http://cbmwww.imicams.ac.cn/>;
- (6) Web of Science, <http://www.isiknowledge.com>。

附录 D
(资料性附录)

物种敏感性分布曲线拟合函数与拟合优度评价方法

D.1 物种敏感性分布曲线拟合函数

本标准推荐使用以下拟合函数：

(1) Log-normal 型函数

$$y = \Phi\left(\frac{\ln x - \mu'}{\sigma}\right) \quad (\text{C-1})$$

式中：y——累积概率，%；
x——毒性值，mg/kg；
 μ 、 σ ——函数参数。

(2) Log-logistic 型函数

$$y = \frac{1}{1 + \left(\frac{\beta}{x - \gamma}\right)^\alpha} \quad (\text{C-2})$$

式中：y——累积概率，%；
x——毒性值，mg/kg；
 α 、 β 、 γ ——函数参数。

(3) Burr III 型函数

$$y = \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{b}{x}\right)^c\right]^k} \quad (\text{C-3})$$

式中：y——累积概率，%；
x——毒性值，mg/kg；
b、c、k——函数的三个参数。

(4) Weibull 型函数

$$y = 1 - e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha} \quad (\text{C-4})$$

式中：y——累积概率，%；
x——毒性值，mg/kg；
 α 、 β ——函数参数。

(5) 非参数核密度函数

$$y = \frac{1}{nh_n} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x - x_i}{h_n}\right) \quad (\text{C-5})$$

式中：K(x)——实数集 R 上 Borel 可测函数，称为窗或核函数；

h_n ——窗宽, $h_n > 0$ 。

D.2 拟合优度评价

模型拟合优度评价是用于检验总体中的一类数据其分布是否与某种理论分布相一致的统计方法。对于参数模型来说, 检验模型拟合优度的参数包括:

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

通常认为, R^2 大于 0.6 具有统计学意义, R^2 越接近 1, 说明毒性数据的拟合优度越大, 模型拟合越精准。

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (\text{C-6})$$

式中: R^2 ——决定系数, 取值范围是 (0,1) ;

y_i ——第 i 种物种的实测毒性值, $\mu\text{g/L}$;

\hat{y}_i ——第 i 种物种的预测毒性值, $\mu\text{g/L}$;

\bar{y} ——实测毒性值的平均值, $\mu\text{g/L}$;

n ——毒性数据数量。

(2) 均方根 (root mean square errors, RMSE)

RMSE 是观测值与真值偏差的平方与观测次数比值的平方根, 该统计参数也叫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。计算公式如下:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}} \quad (\text{C-7})$$

式中: RMSE——均方根;

y_i ——第 i 种物种的实测毒性值, $\mu\text{g/L}$;

\hat{y}_i ——第 i 种物种的预测毒性值, $\mu\text{g/L}$;

n ——毒性数据数量。

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

SSE 是实测值和预测值之差的平方和, 反映每个样本各预测值的离散状况, 又称误差项平方和。SSE 越接近于 0, 说明模型拟合的随机误差效应越低。计算公式如下:

$$SSE = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (\text{C-8})$$

式中: SSE——残差平方和;

y_i ——第 i 种物种的实测毒性值, $\mu\text{g/L}$;

\hat{y}_i ——第 i 种物种的预测毒性值, $\mu\text{g/L}$;

n ——毒性数据数量。

附录 E
(资料性附录)

场地生态安全土壤环境基准技术报告编制大纲

E.1 前言

E.1.1 阐述目标污染物场地生态安全土壤环境基准推导的重要性和必要性。

E.1.2 阐述目标污染物场地生态安全土壤环境基准推导的依据、原则和思路。

E.2 国内外研究进展

阐述目标污染物场地生态安全土壤环境基准研究的国内外进展，包括研究背景、发布机构、制/修订时间、受试生物、推导方法和基准定值等。

E.3 目标污染物的环境问题

阐述场地土壤质量参数、目标污染物的基本信息和理化特性、场地内外目标污染物的来源及分布、目标污染物的毒性效应，以及近年我国土壤中目标污染物的浓度水平和污染情况。

E.4 生态毒性数据的获取

详细描述生态受体和生态过程的确定，以及数据获取中数据收集、筛选与评价的步骤、方法和结果。主要包括：

E.4.1 需要保护的生态受体和生态过程的确定方法及结果。

E.4.2 场地生态安全土壤环境基准推导所需的数据类型。

E.4.3 数据收集所用的毒性数据库、文献数据库、检索时间、检索方案和检索结果等。

E.4.4 毒性数据的筛选方法和筛选结果。

E.4.5 毒性数据的评价过程和评价结果；如需补充开展生态毒性实验，单独说明并将实验报告作为附录。

E.5 基准的推导

详细描述基准推导的方法和结果。主要包括：

E.5.1 场地生态安全土壤环境基准外推方法的选取。

E.5.2 基准推导中的模型拟合与评价的方法和结果。

E.5.3 物种危害浓度确定的方法和基准外推的方法和结果，包括评估因子的取值等。

E.5.4 场地生态安全土壤环境基准的确定及其含义。

E.6 质量控制与质量评价

描述对基准推导过程与本标准技术要求的相符性进行评价的结果。如果基准推导过程中采用了补充测试的生态毒性实验数据，需对补充的生态毒性实验的质量控制结果和实验有效性等进行评述。上述相关内容应符合本标准要求。

E.7 不确定性分析

描述基准推导过程中不确定性的来源，针对主要来源分析不确定性产生的原因。

E.8 参考文献

描述为反映基准推导工作背景和依据、撰写《技术报告》而引用的有关文献资料信息的出处。

E.9 附录

将用于基准推导的生态毒性数据和补充开展的生态毒性实验报告列于附录，主要包括：

E.9.1 目标污染物的生态毒性数据。

E.9.2 基准推导过程中补充开展的生态毒性实验报告。