ICS 13.080.99
CCS Z50

T/SSSC

中 国 土 壤 学 会 团 体 标 准

T/SSSC 0 —2026

土壤和地下水多要素协同生态安全环境基准制定技术指南

Technical guideline for deriving multi-element synergistic environmental criteria of soil and groundwater for ecological safety

（征求意见稿）

2026-XX-XX 发布　　2026-XX-XX 实施

中国土壤学会　发 布

目　　次

前　言 III
1 范围 1
2 规范性引用文件 1
3 术语和定义 1
4 基准制定程序 3
5 暴露情景构建 3
6 数据筛选与评估 4
7 基准推导 8
8 不确定性分析 12
9 报告编制 12
10 质量控制 13
附录 A （资料性） 中国土壤环境基准研究推荐受试物种名录 14
附录 B （资料性） 国际和国内土壤生态毒理标准方法 18
附录 C （资料性） 土壤生态毒理数据表 20
附录 D （资料性） 物种敏感性分布曲线拟合函数与拟合优度评价准则 21
附录 F （资料性） 编制大纲 22

前　言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国土壤学会提出并归口。

本文件起草单位：生态环境部南京环境科学研究所、中国环境科学研究院、中国农业科学院资源区划所、中国科学院南京土壤研究所、浙江农林大学、萍乡中新生态环境有限公司。

本文件主要起草人：李勖之、姜锦林、陈橹、马瑾、陈世宝、宋静、王晓南、冯承莲、王萌、蔡怡敏、刘志坚、钱江萍。

土壤和地下水多要素协同生态安全环境基准制定技术指南

1 范围

本文件规定了土壤和地下水多要素协同生态安全环境基准研究制定的工作程序、内容、方法与技术要求。

本文件适用于我国公园绿地、居住用地、商业/工矿用地三类用地类型下，化学污染物的土壤和地下水多要素协同生态安全环境基准的制定工作。

本文件不适用于放射性物质的环境基准制定。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 3838　地表水环境质量标准

GB/T 21809　化学品　蚯蚓急性毒性试验

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 31270.19　化学农药环境安全评价试验准则 第 19 部分：非靶标植物影响试验

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

HJ 25.1　建设用地土壤污染状况调查技术导则

HJ 25.3　建设用地土壤污染风险评估技术导则

HJ 831　淡水生物水质基准推导技术指南

NY/T 3091　化学农药 蚯蚓繁殖试验准则

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

生态安全环境基准 environmental criteria for ecological safety

环境中污染物对生态受体产生不良效应之间关系的系统总结，包含了典型暴露条件下污染物剂量与生态受体不良效应之间的完整关系，包括推导模型、危害浓度、预测无效应浓度、影响因素等。

3.2

土壤和地下水多要素协同生态安全环境基准 multi-element synergistic environmental criteria of soil and groundwater for ecological safety

综合考虑土壤直接接触、土壤或食物摄入以及土壤－地下水迁移三条暴露途径，系统总结土壤中污染物对生态受体所产生不良效应之间的完整关系。

3.3

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%影响的受试物浓度。

3.4

半数致死浓度 median lethal concentration, LC_{50}

在给定时间内造成 50%的受试生物死亡的受试物浓度。

3.5

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（$p<0.05$）的最低受试物浓度。

3.6

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的最高受试物浓度。

3.7

最大可接受阈值浓度 maximum acceptable toxicant concentration, MATC

无可见效应浓度和最低可见效应浓度的几何平均值。

3.8

无可见不良作用水平 no observed adverse effect level, NOAEL

在规定的试验条件下，没有发现任何与受试物相关的、具有统计学显著性或生物学意义的有害作用的最高剂量。

3.9

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。

3.10

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。

3.11

x%危害浓度 hazardous concentration for x% species, HC_x

受影响物种或土壤功能性终点的累积概率达到x%时土壤中污染物的含量。

3.12

预测无效应浓度 predicted non effect concentration, PNEC

环境中污染物对生态系统不产生有害效应的最大浓度，包括经土壤直接接触途径的$PNEC_{dc}$、基于土壤或食物摄入途径的$PNEC_{predator}$和$PNEC_{sp}$以及基于土壤－地下水迁移途径的$PNEC_{gw}$和$PNEC_{fl}$。

3.13

淋溶因子 Leaching Factor

反映土壤中污染物通过淋溶作用迁移进入地下水过程的参数。

3.14

衰减因子 Attenuation Factor

污染源处地下水的污染物浓度与地下水流向（下游）特定点位的浓度之比。

4 基准制定程序

基准制定程序包括暴露情景构建、数据筛选与评估、基准推导、不确定性分析、报告编制和质量控制 6 个步骤，制定程序见图 1。

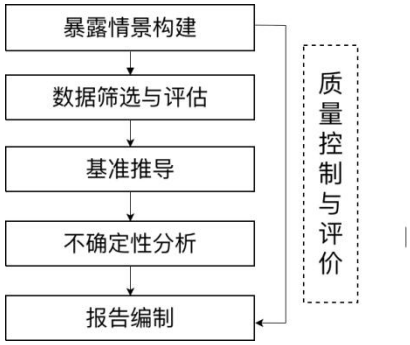


图 1　基准制定程序

5 暴露情景构建

5.1 用地类型

根据土地的使用方式以及活动对土地的敏感性和依赖程度，将用地类型划分为以下 3 个部分：

（1）公园绿地，主要活动是娱乐活动，承担景观生态服务功能；

（2）居住用地，主要活动是居住或娱乐活动，兼具景观生态服务功能；

（3）商业/工矿用地，商业用地主要活动是商业活动，配套草坪、花坛等绿化景观；工矿用地主要活动涉及商品的生产、制造或建设，配套草坪、花坛等绿化景观。其中，采矿用地因其特殊生态敏感性，单独列出。

5.2 暴露途径

各类用地方式对应的暴露途径见表 1。

表 1　各类用地方式对应的暴露途径

用地方式		土壤直接接触途径	土壤或食物摄入途径	土壤－地下水迁移途径
公园绿地		√	√	√ （场地附近存在地表水）
居住用地		√	×	
商业/工矿用地	采矿用地	√	√	
	其它	√	×	

5.3 生态受体

各类用地方式对应的关键生态受体见表 2。

表 2　各类用地方式对应的关键生态受体

用地方式		土壤直接接触途径 （直接毒性）	土壤或食物摄入途径 （二次毒性）	土壤－地下水迁移途径
公园绿地		植物、无脊椎动物、微生物及其主导的生态功能	哺乳动物和鸟类	淡水生物 （场地附近存在地表水）
居住用地			/	
商业/工矿用地	采矿用地		哺乳动物和鸟类	
	其它		/	

6 数据筛选与评估

6.1 数据收集

6.1.1 数据分类

数据收集包括污染物的理化特性数据、对生态受体的生态毒性数据和供试土壤理化性质数据。

6.1.2 污染物的理化特性数据

污染物的理化特性数据，主要包括：

（1）污染物基本信息，包括污染物名称、分子式、CAS 号等；

（2）污染物的理化特征数据，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。

6.1.3 污染物的生态毒性数据

污染物对生态受体的生态毒性数据，主要包括：

（1）受试生物基本信息，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、来源等；

（2）污染物对陆生植物和无脊椎动物的生态毒性数据，包括测试终点和毒性数据；

（3）污染物对微生物及其主导生态过程的生态毒性数据，包括土壤生态功能过程指标和毒性数据；

（4）考虑二次毒性时，污染物对哺乳动物和鸟类等经口膳食暴露的毒性数据及生物富集数据。

6.1.4 供试土壤的理化性质数据

供试土壤理化性质数据，主要包括：

（1）供试土壤基本信息，包括供试土壤采样地区、经纬度、土壤类型等；

（2）供试土壤污染物的含量数据，包括外源添加浓度和实测浓度等；

（3）供试土壤的理化性质数据，包括 pH、有机质、黏粒含量、阳离子交换量等。

6.1.5 数据来源

数据来源主要包括：

（1）有明确数据来源的国内外生态毒性数据库；

（2）国家政府部门发布的相关数据，包括已用于国外土壤生态筛选值制定和化学品风险评估的生态毒性数据；

（3）经专家判断的可靠来源数据，包括公开发表的文献和其他经专家判断的数据；

（4）在基准制定过程中补充测试的代表性物种（附录 A）数据。

6.2 数据筛选

6.2.1 受试物种

受试物种筛选一般遵循如下原则：

（1）陆生植物与土壤无脊椎动物，应优先筛选《中国土壤环境基准研究推荐受试物种名录》（附录 A）内推荐物种：

1）针对陆生植物，应结合用地类型与区域特色进行选择，可侧重选择具有经济价值或重要生态功能的植物，并兼顾其对污染物的指示性；

2）针对无脊椎动物，应重点选择在目标区域内具有稳定分布、生态功能重要且毒理学测试方法

成熟的物种；

（2）微生物及其主导的生态功能，应优先筛选国内外土壤质量评价生物学方法（附录 B）中涉及的微生物及其主导的生态过程；

（3）针对非推荐物种，应从区域代表性、类型代表性、试验适宜性、物种敏感性 4 个方面进行筛选，同时分析物种在区域性粮食生产和经济发展中的重要性，以及在景观娱乐等方面所具有的特殊价值，经专家判断合格后，可用于基准推导。

6.2.2 受试物

受试物筛选一般遵循如下原则：

（1）应明确受试物的准确名称及 CAS 号。当受试物为无机盐时，应说明实验结果的受试物化学形态或名称；

（2）受试物纯度一般大于 95%，否则应进行专家判断，并根据受试物纯度对实验数据进行校正或采用以受试物表征的实测浓度。

6.2.3 实验设计

实验设计筛选一般遵循如下原则：

（1）实验设计应依据国家或国际标准生态毒性测试方法（附录 B），否则应对实验设计进行详细说明；

（2）实验应设置空白对照组和重复组；

（3）实验组浓度设计应合理，一般不少于 5 个处理浓度，浓度范围应覆盖无效应至明显效应浓度，且应采用等比或合理梯度设置；

（4）毒理实验只限于单一暴露实验，避免存在复合污染体系；

（5）野外实验获得的数据应根据专家判断合理使用。

6.2.4 培养条件

培养条件筛选一般遵循如下原则：

（1）优先采用土壤介质试验数据，供试土壤理化性质应处于可接受的测试范围，如 pH 介于 4.0～9.0 之间，有机质含量通常≤10%，特殊情况可放宽；

（2）试验培养条件（设备、时间、温度、湿度和光照等）应符合国内或国际标准测试方法，否则应对培养条件进行详细说明；

（3）对照组的终点指标变化范围应符合标准测试方法的规定。

6.2.5 毒性数据

毒性数据筛选一般遵循如下原则：

（1）对于陆生植物，优先选择植物生长（如生物量、出苗率、芽长、根伸长等）指标；

（2）对于土壤无脊椎动物，优先选择繁殖（如产卵数量、繁殖率、成熟率等）和生长（如体长、生物量、生长率等）指标；

（3）对于微生物及其主导的生态过程，优先选择微生物碳生物量、呼吸作用、硝化作用等功能性指标和脲酶、磷酸酶、脱氢酶和淀粉酶等土壤酶活；

（4）毒性数据应优先选择慢性毒理试验获得的 EC_{10} 和 NOEC。EC_{10} 应通过剂量－效应方程获得，NOEC 应通过标准的统计分析方法或剂量－效应方程获得。一般情况下（EC_{10} 大于最低测试浓度），EC_{10} 可作为 NOEC 等效使用；

（5）若未收集到污染物的 EC_{10} 和 NOEC，应记录其他毒性参数（如急性毒理试验获得的 EC_{50} 和 LC_{50}，慢性毒理试验获得的 LOEC、MATC、EC_x 等）作为补充；

（6）毒性数据若包含土壤背景含量，应扣除背景含量获得外源添加的毒理数据；

（7）若同时存在经过淋洗/老化和未经过淋洗/老化的毒理数据（其他培养环境相同），优先选择经过淋洗/老化处理的毒性数据。

考虑二次毒性时，毒性数据筛选一般遵循如下原则：

（1）优先选择鸟类和哺乳动物经口食物饲喂暴露途径获得的污染物 NOEC；缺乏慢性毒性数据，可选择鸟类的 5 天膳食毒性试验产生的 LC_{50} 数据；

（2）优先选择通过实验获得污染物的土壤－蚯蚓生物富集因子（$BCF_{earthworm}$）。

6.2.6 数据记录

将经筛选和评估后的污染物理化特性数据、生物毒性数据和供试土壤理化性质数据记录在土壤生态毒理数据表格（附录 C）。

6.3 数据评价

6.3.1 可靠性数据评估

依据数据可靠性评价，将毒性数据分为 4 类：

（1）无限制可靠数据：数据产生过程完全符合标准毒性测试方法；

（2）限制性可靠数据：数据产生过程不完全符合（1）中实验准则，但实验程序翔实、可靠，有充足的证据证明数据可用；

（3）不可靠数据：数据产生过程与标准毒性实验有冲突或矛盾，实验设计不科学，没有充足的证据证明数据可用，实验过程不能令人信服或不为专家所接受；

（4）不确定数据：没有提供足够的实验细节，无法判断数据可靠性。

无限制可靠数据和限制性可靠数据可用于推导基准。

6.3.2 可靠数据不足时处理方式

当可靠数据不足时，可采取以下方式：

（1）开展相应实验补充毒性数据，优先使用但不限于本标准推荐的受试物种（附录 A）和生态毒理标准方法（附录 B）。

（2）根据其他毒性数据转换为 EC_{10} 和 NOEC，具体如下：

1）存在 LOEC 或 EC_x 产生效应介于 10-20%时，NOEC=LOEC/2；存在 LOEC 或 EC_x 产生效应介于 20-50%时，NOEC=LOEC/3；存在 LOEC 或 EC_x 产生效应介于 50-80%时，NOEC=LOEC/10；

2）存在单个 MATC，NOEC=MATC/$\sqrt{2}$；存在单个 MATC 和试验浓度设计间距系数（SF），NOEC=MATC/$\sqrt{SF}$；存在多个 MATC，取最低值为 NOEC 值；

3）存在急性数据 LC_{50} 或 EC_{50}，NOEC=(LC_{50} 或 EC_{50})/10。

经转换的毒性数据，经专家判断为可靠数据后可用于基准推导。

7 基准推导

7.1 基于土壤直接接触途径的环境基准推导

7.1.1 毒性数据归一化

针对不同供试土壤对应的生态毒性数据（EC_{10} 或 NOEC），结合土壤理化性质，构建逐步回归模型，以实现该物种或指标 EC_{10} 值的归一化处理。计算方法如下：

$$\mathrm{Log}[EC_{10}] = a \times pH + b \times \mathrm{Log}[OM] + c \times \mathrm{Log}[CEC] + d \times \mathrm{Log}[Clay] + k \quad (1)$$

式中：*pH*—供试土壤 pH，无量纲；

OM—供试土壤有机质含量，$g \cdot kg^{-1}$；

CEC—供试土壤阳离子交换量，$cmol(+) \cdot kg^{-1}$；

Clay—供试土壤黏粒含量，%。

针对毒性数据不足以开发归一化方程的物种，引入种间外推模型进行归一化处理，计算方法如下：

$$EC_{10,y} = EC_{10,x} \times 10^{[a \times (pHy - pHx) + b \times \mathrm{Log}(OMy / OMx) + c \times \mathrm{Log}(CECy / CECx) + d \times \mathrm{Log}(Clayy / Clayx)]} \quad (2)$$

式中：$EC_{10,x}$、$EC_{10,y}$——具有 x 属性的供试土壤对应 EC_{10}、具备 y 属性的特定土壤归一化 EC_{10}。

归一化模型和种间外推模型应通过专家论证。若无法进行归一化，则直接采用原始数据进行基准推导。

7.1.2 毒性数据预处理

按以下方式对归一化毒性数据进行处理：

（1）对同一物种的同一测试终点的归一化毒性数据，取几何平均值；

（2）对同一物种的不同测试终点的归一化毒性数据，取最小值；

（3）对同一生态功能的归一化毒性数据，取几何平均值。

7.1.3 毒性数据拟合

当有足够的毒性数据（通常指有 10—15 个以上，包含至少 8 个不同生物种类或生态功能指标的毒性数据），选用 Burr III、Log-normal、Log-logistic、Weibull 及 Gamma 等拟合函数分别对毒性数据进行拟合，构建 SSD 模型。拟合函数详见附录 D。

7.1.4 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）均方根误差（RMSE）。RMS 越接近于 0，表明模型拟合的精确度越高；

（2）概率 P 值（A-D 检验）。$P>0.05$，表明拟合通过 A-D 检验，模型符合理论分布。

根据拟合优度评价结果，结合专业判断，在 $P>0.05$ 的拟合模型中，选择 RMSE 最小的模型作为最优拟合模型。

7.1.5 $PNEC_{dc}$ 确定

依据确定的最优拟合 SSD 模型，分别计算保护水平为 5%、10%、20%、30%、40%、50%、60%、70%、80%、90%和 95%时对应的危害浓度（HC_5、HC_{10}、HC_{20}、HC_{30}、HC_{40}、HC_{50}、HC_{60}、HC_{70}、HC_{80}、HC_{90} 和 HC_{95}）。

表 3 不同用地方式下土壤污染物的危害浓度确定

用地方式	保护水平	危害浓度
公园/城市绿地	80%的生态物种和生态过程	HC_{20}
居住用地	60%的生态物种和生态过程	HC_{40}
采矿用地	80%的生态物种和生态过程	HC_{20}
其它商业/工业用地	50%的生态物种和生态过程	HC_{50}

综合数据的总体质量、物种代表性和多样性、涵盖的测试终点和模型拟合效果等，土壤 $PNEC_{dc}$ 等于 HC_x 除以安全系数（2～5）。

$$PNEC_{dc}=\frac{HC_x}{AF} \quad （3）（$$

式中：$PNEC_{dc}$—土壤中污染物经直接接触途径的预测无效应浓度，$mg\cdot kg^{-1}$；

HC_x—污染物的危害浓度，$mg\cdot kg^{-1}$；

AF—安全系数，一般取值为 2～5；当有效毒性数据包括的物种数量大于 15 时，且经过老化

或淋溶处理，*AF* 取值为 1；当有效毒性数据包括的物种数量大于 15 时，未经过老化或淋溶处理，*AF* 取值为 2；有效毒性数据包括的物种数量小于等于 15 时，由专家判断确定。

7.2 基于土壤或食物摄入途径的环境基准推导

7.2.1 $PNEC_{predator}$ 确定

考虑污染物通过食物链蓄积和传递对哺乳动物和鸟类的危害，食物链的长度视实际环境评估对象情况而定。推荐采用评估系数法推导鸟类或哺乳动物的 $PNEC_{predator}$。计算方法如下：

$$PNEC_{predator} = \frac{Tox_{oral}}{AF_{oral}} \tag{4}$$

式中：$PNEC_{predator}$—污染物经食物链蓄积和传递对哺乳动物和鸟类的预测无效应浓度，$mg \cdot kg_{food}^{-1}$；

Tox_{oral}—效应浓度，$mg \cdot kg_{food}^{-1}$；

AF_{oral}—外推评估因子。

表 4 计算 $PNEC_{predator}$ 的推荐评估因子

Tox_{oral}	测试时间	AF_{oral}
LC_{50}（鸟类）	5 天	3000
NOEC（鸟类）	慢性	30
NOEC（哺乳动物）	28 天	300
	90 天	90
	慢性	30

鸟类和哺乳动物 NOEC 通过 NOAEL 进行推导。计算方法如下：

$$NOEC = \frac{NOAEL}{CF} \tag{5}$$

式中：*NOEC*—鸟类或哺乳动物的无观察效应浓度，$mg \cdot kg_{food}^{-1}$；

NOAEL—鸟类或哺乳动物的未观察到有害作用剂量，$mg \cdot kg_{BW}^{-1} \cdot d^{-1}$；

CF—转换系数，推荐系数如下表。

表 5 计算 NOEC 的推荐转换系数

试验物种	CF
犬科动物	40
猕猴属	20
田鼠	8.3
小鼠	8.3
家兔	33.3
大鼠（>6 周）	20
大鼠（≤6 周）	10
家鸡	8

7.2.2 $PNEC_{sp}$ 确定

根据 $PNEC_{predator}$ 和 $BCF_{earthworm}$，计算经土壤或食物摄入途径的 $PNEC_{sp}$。计算方法如下：

$$PNEC_{sp}=\frac{PNEC_{predator}}{BCF_{earthworm}} \tag{6}$$

式中：$PNEC_{predator}$—土壤中污染物经食物链蓄积和传递对哺乳动物和鸟类的预测无效应浓度，mg·kg^{-1}；

$BCF_{earthworm}$—污染物的土壤-蚯蚓生物富集因子，即蚯蚓体内污染物浓度与土壤中污染物浓度的比值。

7.3 基于土壤－地下水迁移途径的环境基准推导

7.3.1 $PNEC_{gw}$ 确定

场地周边分布地表水体时，需评估地下水扩散迁移对周边淡水生物的影响，进而确定以下游淡水生物为保护目标的地下水中污染物的 $PNEC_{gw}$。计算方法如下：

$$AF=\frac{1}{\exp\left\{\frac{x}{2\times a_x}\times\left(1-\sqrt{1+\frac{4\times\lambda\times a_x}{u}}\right)\right\}\times\mathrm{erf}\left(\frac{S_y}{2\times\sqrt{a_y\times x}}\right)\times\mathrm{erf}\left(\frac{S_z}{4\times\sqrt{a_z\times x}}\right)} \tag{7}$$

$$PNEC_{dw}=C_{ED}\times\quad AF \tag{8}$$

式中：$PNEC_{dw}$—以周边淡水生物为保护目标的地下水中污染物预测无效应浓度，mg·L^{-1}；

AF—衰减因子；

C_{ED}—距离污染源下游 x 米处的污染物浓度，应依据 HJ 831 推导污染物的淡水生物水质基准，或采用地表水环境质量标准，mg·L^{-1}；

x—沿地下水流向，从污染源到下游受体的距离，m；

S_y、S_z—污染源处（饱和带内）污染羽的初始宽度和初始厚度，m；

a_x、a_y、a_z—纵向弥散度、横向弥散度、垂直弥散度，m；

λ—一阶降解速率常数，d^{-1}。

u—阻滞后的污染物迁移速率，m·d^{-1}；根据以下公式计算：

$$u=\frac{K\times i}{n\times R_f} \tag{9}$$

$$R_f=1+\frac{K_d\times\rho}{n} \tag{10}$$

式中：i—水力坡度，无量纲；

K—水力传导度，m·d^{-1}；

R_f—阻滞因子，无量纲；

n—有效孔隙度，无量纲；

K_d—分配系数，L·kg^{-1}；

ρ—土壤容重，$g \cdot cm^{-3}$。

7.3.2 $PNEC_{fl}$ 确定

依据 HJ 25.3 中推荐模型计算，基于 $PNEC_{gw}$ 反推获得土壤中污染物的 $PNEC_{fl}$。计算方法如下：

$$PNEC_{fl} = \frac{PNEC_{dw}}{LF} \tag{11}$$

式中：$PNEC_{fl}$—以周边淡水生物为保护目标的土壤中污染物预测无效应浓度，$mg \cdot kg^{-1}$；

LF—土壤中污染物进入地下水的淋溶因子，$kg \cdot L^{-1}$，根据 HJ 25.3 中附录 F 计算。

7.4 基准确定和表述

7.4.1 基于土壤直接接触途径的环境基准

环境基准包括污染物的 SSD 模型、不同保护水平下的 HC_x、相应用地方式下的 PNEC。若毒性数据进行归一化，环境基准还应包含土壤关键理化性质、土壤归一方程等。

HC_x、PNEC 一般保留 2 位有效数字，$mg \cdot kg^{-1}$。

7.4.2 基于土壤或食物摄入途径的环境基准

环境基准包括污染物的 $PNEC_{predator}$、$PNEC_{sp}$。

$PNEC_{predator}$、$PNEC_{sp}$ 一般保留 2 位有效数字，$mg \cdot kg^{-1}$。

7.4.3 基于土壤－地下水迁移途径的环境基准

环境基准包括污染物的 $PNEC_{gw}$、$PNEC_{fl}$、坡度、从污染源到下游受体的距离。

$PNEC_{gw}$、$PNEC_{fl}$ 一般保留 2 位有效数字，$mg \cdot L^{-1}$。

8 不确定性分析

对基准推导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、拟合模型评价以及评估因子取值等。

9 报告编制

基准推导应附技术报告描述基准推导过程，技术报告主要内容包括概述、国内外相关研究进展、目标污染物的环境问题、毒性数据筛选与评价、基准推导、质量评价、参考文献和附录等，技术报告大纲和相关要求参见附录 F。

10 质量控制

10.1 暴露情景构建质量控制

质量控制主要包括以下内容：

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

（2）应熟悉基准制定技术规范，通过资料调研、专家咨询、现场调研对收集的资料进行修正补充，合理确定用地类型、暴露途径、敏感受体。

10.2 数据收集与筛选质量控制

质量控制主要包括以下内容：

（1）对数据检索人员进行数据检索知识和技能的培训；

（2）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因；

（3）各类数据信息应至少由 2 人对数据的来源和可靠性进行核实。

10.3 基准推导质量控制

质量控制主要包括以下内容：

（1）对基准推导人员进行基准推导方法的培训；

（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）基准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。

10.4 报告编制质量控制

质量控制主要包括以下内容：

（1）对报告编制人员进行基准推导技术报告编制的培训；

（2）技术报告应满足附录 F 的大纲要求；

（3）技术报告应对基准推导过程中暴露途径构建、数据收集与筛选、不同途径的环境基准推导与表征进行详细说明。

附录 A

（资料性）

中国土壤环境基准研究推荐受试物种名录

表 A.1 中国土壤环境基准研究推荐受试物种名录（无脊椎动物）

序号	中文名称	学名	门	纲	目	科	属	类型
1	背暗异唇蚓	*Allolobophora caliginosa*	环节动物门	寡毛纲	后孔寡毛目	正蚓科	异唇蚓属	土壤动物
2	赤子爱胜蚓	*Eisenia fetida*	环节动物门	寡毛纲	后孔寡毛目	正蚓科	爱胜蚓属	土壤动物
3	安德爱胜蚓	*Eisenia andrei*	环节动物门	寡毛纲	后孔寡毛目	正蚓科	爱胜蚓属	土壤动物
4	陆正蚓	*Lumbricus terrestris*	环节动物门	寡毛纲	后孔寡毛目	正蚓科	正蚓属	土壤动物
5	粉正蚓 / 红正蚓	*Lumbricus rubellus*	环节动物门	寡毛纲	后孔寡毛目	正蚓科	正蚓属	土壤动物
6	威廉环毛蚓	*Metaphire guillelmi*	环节动物门	寡毛纲	后孔寡毛目	巨蚓科	环毛蚓属	土壤动物
7	白线蚓	*Enchytraeids albidus*	环节动物门	寡毛纲	近孔寡毛目	线蚓科	线蚓属	土壤动物
8	球肾白线蚓	*Fridericia bulbosa*	环节动物门	寡毛纲	近孔寡毛目	线蚓科	白线蚓属	土壤动物
9	盾平懒甲螨	*Heminothrus peltifer*	节肢动物门	蛛形纲	甲螨目	洼甲螨科	半懒甲螨属	土壤动物
10	曲毛裸长蛛	*Sinella curviseta*	节肢动物门	弹尾纲	长角蛛目	长角蛛科	裸长角蛛属	土壤动物
11	白符蛛	*Folsomia candida*	节肢动物门	弹尾纲	长角蛛目	等节蛛科	符蛛属	土壤动物
12	短角蛛	*Folsomia fimetaria*	节肢动物门	弹尾纲	长角蛛目	等节蛛科	符蛛属	土壤动物
13	小原等节蛛	*Proisotoma minuta*	节肢动物门	弹尾纲	长角蛛目	等节蛛科	原等蛛属	土壤动物
14	四刺泡角蛛	*Ceratophysella duplicispinosa*	节肢动物门	弹尾纲	原蛛目	球角蛛科	泡角蛛属	土壤动物

序号	中文名称	学名	门	纲	目	科	属	类型
15	符氏直棘蛛	*Orthonychiurus folsomi*	节肢动物门	弹尾纲	原蛛目	棘蛛科	长角棘蛛属	土壤动物
16	鼠妇	*Armadillidium vulgare*	节肢动物门	软甲纲	等足目	卷甲虫科	卷甲虫属	土壤动物
17	膨胀肾形虫	*Colpoda inflata*	纤毛虫门	肾形虫纲	肾形虫目	肾形虫科	肾形虫属	土壤动物
18	哈尔滨肾形虫	*Colpoda harbinensis*	纤毛虫门	肾形虫纲	肾形虫目	肾形虫科	肾形虫属	
19	灰巴蜗牛	*Bradybaena ravida*	软体动物门	腹足纲	柄眼目	巴蜗牛科	巴蜗牛属	土壤动物
20	秀丽隐杆线虫	*Caenorhabditis elegans*	线虫动物门	线虫纲	小杆目	小杆科	秀丽隐杆线虫属	土壤动物

表 A.2 中国土壤环境基准研究推荐受试物种名录（陆生植物）

序号	中文名称	学名	门	纲	目	科	属	类型
1	旱芹	*Apium graveolens*	被子植物门	木兰纲	伞形目	伞形科	芹属	蔬菜作物
2	胡萝卜	*Daucus carota*	被子植物门	木兰纲	伞形目	伞形科	胡萝卜属	蔬菜作物
3	洋葱	*Allium cepa*	被子植物门	木兰纲	天门冬目	石蒜科	葱属	蔬菜作物
4	韭	*Allium tuberosum*	被子植物门	木兰纲	天门冬目	石蒜科	葱属	蔬菜作物
5	莴苣	*Lactuca sativa*	被子植物门	木兰纲	菊目	菊科	莴苣属	蔬菜作物
6	蒲公英	*Taraxacum mongolicum*	被子植物门	木兰纲	菊目	菊科	蒲公英属	其他
7	拟南芥	*Arabidopsis thaliana*	被子植物门	木兰纲	十字花目	十字花科	拟南芥属	其他
8	芥菜	*Brassica juncea*	被子植物门	木兰纲	十字花目	十字花科	芸薹属	蔬菜作物
9	欧洲油菜	*Brassica napus*	被子植物门	木兰纲	十字花目	十字花科	芸薹属	经济作物
10	芜菁	*Brassica rapa*	被子植物门	木兰纲	十字花目	十字花科	芸薹属	蔬菜作物
11	甘蓝	*Brassica oleracea*	被子植物门	木兰纲	十字花目	十字花科	芸薹属	蔬菜作物
12	白菜	*Brassica pekinensis*	被子植物门	木兰纲	十字花目	十字花科	芸薹属	蔬菜作物
13	独行菜	*Lepidium apetalum*	被子植物门	木兰纲	十字花目	十字花科	独行菜属	蔬菜作物

序号	中文名称	学名	门	纲	目	科	属	类型
14	萝卜	*Raphanus sativus*	被子植物门	木兰纲	十字花目	十字花科	萝卜属	蔬菜作物
15	甜菜	*Beta vulgaris*	被子植物门	木兰纲	石竹目	苋科	甜菜属	蔬菜作物
16	碱蓬	*Suaeda glauca*	被子植物门	木兰纲	石竹目	苋科	碱蓬属	其他
17	柽柳	*Tamarix chinensis*	被子植物门	木兰纲	石竹目	柽柳科	柽柳属	其他
18	黄瓜	*Cucumis sativus*	被子植物门	木兰纲	葫芦目	葫芦科	黄瓜属	蔬菜作物
19	杜鹃	*Rhododendron simsii*	被子植物门	木兰纲	杜鹃花目	杜鹃花科	杜鹃花属	其他
20	山茶	*Camellia japonica*	被子植物门	木兰纲	杜鹃花目	山茶科	山茶属	其他
21	紫穗槐	*Amorpha fruticosa*	被子植物门	木兰纲	豆目	豆科	紫穗槐属	其他
22	大豆	*Glycine max*	被子植物门	木兰纲	豆目	豆科	大豆属	粮谷作物
23	野大豆	*Glycine soja*	被子植物门	木兰纲	豆目	豆科	大豆属	粮谷作物
24	胡枝子	*Lespedeza bicolor*	被子植物门	木兰纲	豆目	豆科	胡枝子属	其他
25	紫苜蓿	*Medicago sativa*	被子植物门	木兰纲	豆目	豆科	苜蓿属	经济作物
26	豌豆	*Pisum sativum*	被子植物门	木兰纲	豆目	豆科	豌豆属	粮谷作物
27	刺槐	*Robinia pseudoacacia*	被子植物门	木兰纲	豆目	豆科	刺槐属	其他
28	红车轴草	*Trifolium pratense*	被子植物门	木兰纲	豆目	豆科	车轴草属	经济作物
29	白车轴草	*Trifolium repens*	被子植物门	木兰纲	豆目	豆科	车轴草属	经济作物
30	胡卢巴	*Trigonella foenum-graecum*	被子植物门	木兰纲	豆目	豆科	胡卢巴属	经济作物
31	野豌豆	*Vicia sepium*	被子植物门	木兰纲	豆目	豆科	野豌豆属	粮谷作物
32	绿豆	*Vigna radiata*	被子植物门	木兰纲	豆目	豆科	豇豆属	粮谷作物
33	薰衣草	*Lavandula angustifolia*	被子植物门	木兰纲	唇形目	唇形科	薰衣草属	经济作物
34	车前	*Plantago asiatica*	被子植物门	木兰纲	唇形目	车前科	车前属	其他
35	陆地棉	*Gossypium hirsutum*	被子植物门	木兰纲	锦葵目	锦葵科	棉属	经济作物
36	大麻槿	*Hibiscus cannabinus*	被子植物门	木兰纲	锦葵目	锦葵科	木槿属	经济作物

序号	中文名称	学名	门	纲	目	科	属	类型
37	燕麦	*Avena sativa*	被子植物门	木兰纲	禾本目	禾本科	燕麦属	粮谷作物
38	狗牙根	*Cynodon dactylon*	被子植物门	木兰纲	禾本目	禾本科	狗牙根属	其他
39	高羊茅	*Festuca elata*	被子植物门	木兰纲	禾本目	禾本科	羊茅属	其他
40	大麦	*Hordeum vulgare*	被子植物门	木兰纲	禾本目	禾本科	大麦属	粮谷作物
41	细毛鸭嘴草	*Ischaemum ciliare*	被子植物门	木兰纲	禾本目	禾本科	鸭嘴草属	其他
42	黑麦草	*Lolium perenne*	被子植物门	木兰纲	禾本目	禾本科	黑麦草属	经济作物
43	五节芒	*Miscanthus floridulus*	被子植物门	木兰纲	禾本目	禾本科	芒属	其他
44	稻	*Oryza sativa*	被子植物门	木兰纲	禾本目	禾本科	稻属	粮谷作物
45	稷	*Panicum miliaceum*	被子植物门	木兰纲	禾本目	禾本科	黍属	粮谷作物
46	百喜草	*Paspalum notatum*	被子植物门	木兰纲	禾本目	禾本科	雀稗属	其他
47	象草	*Pennisetum purpureum*	被子植物门	木兰纲	禾本目	禾本科	狼尾草属	其他
48	甘蔗	*Saccharum officinarum*	被子植物门	木兰纲	禾本目	禾本科	甘蔗属	经济作物
49	黑麦	*Secale cereale*	被子植物门	木兰纲	禾本目	禾本科	黑麦属	粮谷作物
50	高粱	*Sorghum Bicolor*	被子植物门	木兰纲	禾本目	禾本科	高粱属	粮谷作物
51	小麦	*Triticum aestivum*	被子植物门	木兰纲	禾本目	禾本科	小麦属	粮谷作物
52	玉蜀黍	*Zea mays*	被子植物门	木兰纲	禾本目	禾本科	玉蜀黍属	粮谷作物
53	沙棘	*Hippophae rhamnoides*	被子植物门	木兰纲	蔷薇目	胡颓子科	沙棘属	其他
54	苎麻	*Boehmeria nivea*	被子植物门	木兰纲	蔷薇目	荨麻科	苎麻属	经济作物
55	盐肤木	*Rhus chinensis*	被子植物门	木兰纲	无患子目	漆树科	盐肤木属	其他
56	烟草	*Nicotiana tabacum*	被子植物门	木兰纲	茄目	茄科	烟草属	经济作物
57	番茄	*Solanum lycopersicum*	被子植物门	木兰纲	茄目	茄科	番茄属	蔬菜作物
58	马尾松	*Pinus massoniana*	裸子植物门	松纲	松目	松科	松属	其他
59	芒萁	*Dicranopteris pedata*	蕨类植物门	木贼纲	里白目	里白科	芒萁属	其他

附录 B

（资料性）

国际和国内土壤生态毒理标准方法

表 B.1 国际和国内土壤生态毒理标准方法

方法来源	编号	方法名称
国家标准	GB/T 21809	化学品　蚯蚓急性毒性试验
	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 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 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 31270.19	化学农药环境安全评价试验准则 第 19 部分：非靶标植物影响试验
	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
	NY/T 3091	化学农药 蚯蚓繁殖试验准则
ISO 标准	ISO 11267	Soil quality　Inhibition of reproduction of Collembola (*Folsomia candida*) by soil contaminants
	ISO 11268-1	Soil quality　Effects of pollutants on earthworms Part 1: Determination of acute toxicity to *Eisenia fetida/Eisenia andrei*
	ISO 11268-2	Soil quality　Effects of pollutants on earthworms Part 2: Determination of effects on reproduction of *Eisenia fetida/Eisenia andrei*
	ISO 11268-3	Soil quality　Effects of pollutants on earthworms Part 3: Guidance on the determination of effects in field situations
	ISO ll269-1	Soil quality　Determination of the effects of pollutants on soil flora Part 1: Method for the measurement of inhibition of root growth
	ISO ll269-2	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　Biological methods Determination of nitrogen mineralization and nitrification in soils and the influence of chemicals on these processes
	ISO l4240-1	Soil quality　Determination of soil microbial biomass Part 1: Substrate-induced respiration method
	ISO l4240-2	Soil quality　Determination of soil microbial biomass　Part 2: Fumigation-extraction method
	ISO 15685	Soil quality　Determination of potential nitrification and inhibition of nitrification Rapid test by ammonium oxidation

方法来源	编号	方法名称
	ISO l6072	Soil quality Laboratory methods for determination of microbial soil respiration
	ISO 16387	Soil quality Effects of contaminants on Enchytraeidae (*Enchytraeus sp*.) — Determination of effects on reproduction
	ISO 17126	Soil quality Determination of the effects of pollutants on soil flora — Screening test for emergence of lettuce seedlings (*Lactuca sativa L.*)
	ISO 17155	Soil quality—Determination of abundance and activity of soil microflora using respiration curves
	ISO 17512-1	Soil quality Avoidance test for determining the quality of soils and effects of chemicals on behaviour Part 1: Test with earthworms (*Eisenia fetida a*nd *Eisenia andrei*)
	ISO 17512-2	Soil quality Avoidance test for determining the quality of soils and effects of chemicals on behaviour — Part 2: Test with collembolans (*Folsomia candida*)
	ISO 18763:	Soil quality Determination of the toxic effects of pollutants on germination and early growth of higher plants
	ISO 20963	Soil quality Effects of pollutants on insect larvae (*Oxythyrea funesta*) — Determination of acute toxicity
	ISO 21285	Soil quality Inhibition of reproduction of the soil mite (*Hypoaspis aculeifer*) by soil contaminants
	ISO 21479	Soil quality Determination of the effects of pollutants on soil flora Leaf fatty acid composition of plants used to assess soil quality
	ISO 22030	Soil quality Biological methods Chronic toxicity in higher plants
	ISO 23266	Soil quality Test for measuring the inhibition of reproduction in oribatid mites (*Oppia nitens*) exposed to contaminants in soil
OECD 标准	OECD 207	Earthworm, Acute Toxicity Tests
	OECD 208	Terrestrial Plant Test: Seedling Emergence and Seedling Growth Test
	OECD 216	Soil Microorganisms: Nitrogen Transformation Test
	OECD 217	Soil Microorganisms: Carbon Transformation Test
	OECD 220	Enchytraeid Reproduction Test
	OECD 222	Earthworm Reproduction Test (*Eisenia fetida/Eisenia andrei*)
	OECD 226	Predatory mite (Hypoaspis (Geolaelaps) aculeifer) reproduction test in soil
	OECD 227	Terrestrial Plant Test: Vegetative Vigour Test
	OECD 232	Collembolan Reproduction Test in Soil
ASTM 标准	ASTM E1676	Standard Guide for Conducting Laboratory Soil Toxicity or Bioaccumulation Tests with the Lumbricid Earthworm *Eisenia Fetida* and the Enchytraeid Potworm *Enchytraeus albidus*
EPA 标准	EPA 850.3100	Earthworm Subchronic Toxicity Test
	EPA 850.3200	Soil Microbial Community Toxicity Test
	EPA 850.4100	Seedling Emergence and Seedling Growth
	EPA 850.4150	Vegetative Vigor
	EPA 850.4230	Early Seedling Growth Toxicity Test
	EPA 850.4300	Terrestrial Plants Field Study
	EPA 850.4900	Terrestrial Soil-Core Microcosm Test

附录 C

（资料性）

土壤生态毒理数据表

表 C.1 土壤生态毒理数据表（陆生植物和无脊椎动物）

序号	污染物		生态受体		供试土壤					生态毒理数据					
	测试试剂	CAS 号	物种名称	拉丁名称	采样位置	pH	有机质含量（%）	黏粒含量（%）	阳离子交换量	时间（d）	测试终点	毒性参数	数值（mg/kg）	数据来源	备注
1															
2															
3															
.....															

表 C.2 土壤生态毒理数据表（微生物及其主导的生态过程）

序号	污染物		微生物及生态功能	供试土壤					生态毒理数据				
	测试试剂	CAS 号		采样位置	pH	有机质含量（%）	黏粒含量（%）	阳离子交换量	时间（d）	毒性参数	数值（mg/kg）	数据来源	备注
1													
2													
3													
……													

附录 D

（资料性）

物种敏感性分布曲线拟合函数与拟合优度评价准则

D1 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：

a） Burr III 型函数

$$y=\frac{1}{[1+(\frac{b}{x})^{c}]^{k}} \quad \text{D(1)}$$

式中：y—累积频率，%；

x—毒性值，mg/kg；

b.c、k 为函数的三个参数。

b） Log-normal 型函数

$$y=\Phi(\frac{\ln x-\mu'}{\sigma}) \quad \text{D(2)}$$

式中：y—累积频率，%；

x—毒性值，mg/kg；

μ和σ为函数参数。

c） Log-logistic 型函数

$$y=\frac{1}{1+(\frac{\beta}{x-\gamma})^{\alpha}} \quad \text{D(3)}$$

式中：y—累积频率，%；

x—毒性值，mg/kg；

α、β、γ为函数参数。

d） Weibull 型函数

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

式中：y—累积频率，%；

x—毒性值，mg/kg；

α和β为函数参数。

e） Gamma 型函数

$$y=\frac{\Gamma_{x/\beta}(\alpha)}{\Gamma(\alpha)} \quad \text{D(5)}$$

式中：y—累积频率，%；

x—毒性值，mg/kg；

α和β为函数参数。

附录 F

（资料性）

编制大纲

1 概述

2 国内外研究进展

3 污染物的环境问题

3.1 污染物的理化性质

3.2 污染物的环境行为

3.3 污染物对生态受体的毒性

4. 暴露情景构建

4.1 用地类型

4.2 暴露途径

4.3 敏感受体

5. 数据筛选与评估

5.1 数据筛选

5.2 数据评价

5.3 数据记录

6. 基准推导

6.1 基于土壤直接接触途径的环境基准推导

6.2 基于土壤或食物摄入途径的环境基准推导

6.3 基于土壤－地下水迁移途径的环境基准推导

6.4 基准确定和表述

7. 不确定性分析

8. 质量控制

9. 参考文献

10. 附录