

# 中华人民共和国国家环境保护标准

HJ □□□-20□□

---

## 农产品安全土壤环境基准制定 技术指南

**Technical guideline for deriving soil environmental criteria  
for agricultural product safety**

(征求意见稿)

201□-□□-□□发布

201□-□□-□□实施

---

生态环境部 发布

# 目 次

前 言.....	134
1 适用范围.....	135
2 规范性引用文件.....	135
3 术语和定义.....	135
4 农产品安全土壤环境基准制定程序.....	136
5 数据收集和筛选.....	137
6 土壤污染物富集数据归一化.....	137
7 利用物种敏感性分布法推导 HC <sub>5</sub> .....	139
8 农产品安全土壤环境基准值的推导.....	139
9 不确定性分析.....	140
10 农产品安全土壤环境基准的审核.....	140
附录 A（资料性附录） 土壤和污染物的分析.....	141
附录 B（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准则.....	142
附录 C（资料性附录） 农产品安全土壤环境基准技术报告编制大纲.....	144

## 前 言

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》，防止土壤污染，保障农产品质量安全，科学、规范地制定保障农产品安全的土壤环境基准，制定本标准。

本标准规定了制定保障农产品安全的土壤环境基准的程序、方法与技术要求。

本标准的附录A~附录C为资料性附录。

本标准为首次发布。

本标准由生态环境部科技标准司组织制定。

本标准起草单位：环境保护部南京环境科学研究所、中国农业科学院农业资源与农业区划研究所。

本标准生态环境部20□□年□□月□□日批准。

本标准自20□□年□□月□□日起实施。

本标准由生态环境部解释。

# 农产品安全土壤环境基准制定技术指南

## 1 适用范围

本标准规定了保障农产品安全的土壤环境基准制定的技术方法。

本标准适用于食用农产品农用地土壤中有机和无机污染物环境基准的制定,以有效态为基础的土壤环境基准制定参考本标准。

本标准不适用于放射性污染物的农产品安全土壤环境基准制定。

## 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 2762 食品中污染限量

HJ/T 166 土壤环境监测技术规范

NY/T 395 农田土壤环境质量监测技术规范

## 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

保障生态安全、人体健康和农产品质量安全的土壤环境中污染物最大允许含量。

### 3.2

**农产品安全土壤环境基准** soil environmental criteria for agricultural product safety

以保障食用农产品质量安全为目的制定的土壤环境基准。

### 3.3

**食用农产品农用地** agro-product area

农业活动中获得植物、动物、微生物及其产品生产的相关区域。

### 3.4

**生物富集系数** bio-concentration factor (BCF)

生物体内某种污染物的浓度与其在所生存土壤环境中该物质浓度的比值,以表示生物富集的程度。

### 3.5

#### 土壤环境背景值 soil environment background value

指土壤环境背景含量的统计量，通常以土壤环境背景含量的某一分位值表示。

### 3.6

#### 归一化 normalization

利用模型将不同时间和不同土壤性质的污染物富集数据校正到相同水平的时间和土壤性质下的方法。

### 3.7

#### 种间外推 cross-species extrapolation

假定土壤性质对某些物种影响相同的情况下，利用某种物种已有生物有效性模型外推获得另一种物种生物有效性模型的方法。

### 3.8

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

假设不同作物或同一作物不同品种的富集能力能够被一个分布描述，通过生物测试获得的有限物种的毒性效应值是来自于这个分布的样本，可用于估算该分布的参数。

### 3.9

#### 5%危害浓度 5% hazardous concentration (HC<sub>5</sub>)

在不同作物或同一作物不同品种 5%的品种受到显著影响时，土壤中污染物相对应的浓度或 95%的品种能够得到有效保护的污染物的浓度。

### 3.10

#### 预测无效应浓度 predicted no effect concentration (PNEC)

预测无效应浓度通常作为保障农产品安全的土壤环境基准，或称为保障农产品安全的土壤中污染物的最大允许含量。

## 4 农产品安全土壤环境基准制定程序

农产品安全土壤环境基准的制定主要包括 6 个步骤（图 1），具体如下：

- (1) 数据的收集和筛选；
- (2) 土壤污染物富集数据归一化；
- (3) 利用物种敏感性分布法推导 HC<sub>5</sub>；
- (4) 基准值的推导；
- (5) 不确定性分析；
- (6) 基准的审核。

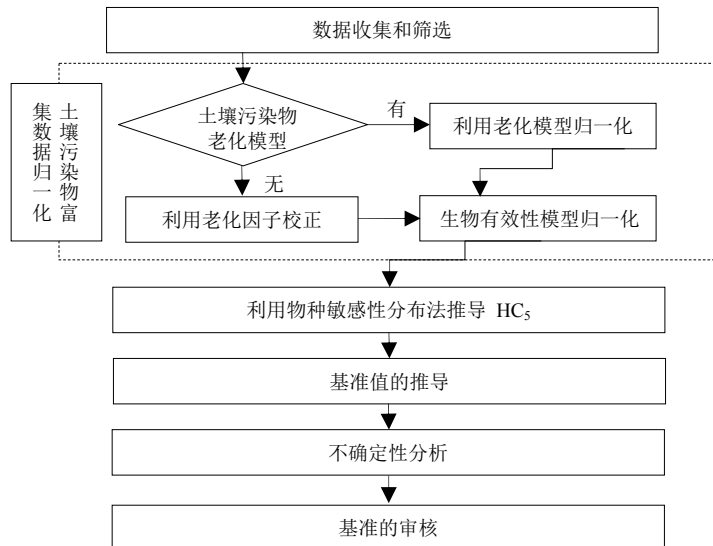


图 1 农产品安全土壤环境基准制定程序

## 5 数据收集和筛选

### 5.1 数据来源

数据的来源主要有公开发表的文献和报告及实验室实测的数据，常用数据库有中国知网、万方数据库、维普数据库和 Web of Science。

### 5.2 数据筛选原则

对收集的数据进行筛选，筛选标准如下：

- (1) 实验应有合理的对照；
- (2) 实验条件应始终一致；
- (3) 实验重复应多于 3 个，实验浓度梯度应多于 2 个；
- (4) 田间实验培养时间至少一周以上；
- (5) 暴露途径应均一合理或随机分布；
- (6) 外源添加实验应没有复合污染和其他障碍因子的影响；
- (7) 没有其他明显不合理的因素，如缺少土壤性质、评价终点等数据。

## 6 土壤污染物富集数据归一化

### 6.1 老化归一化

- (1) 通过文献调研，选择针对目标污染物的老化模型：

$$\text{污染物的有效态含量} = f(t, \text{pH}, \text{OC}\cdots) \quad (1)$$

式中：t——老化时间。

老化模型通常以土壤中污染物的有效态含量与土壤性质和老化时间之间的函数关系表示。

(2) 以短期 ( $t_0$ ) 实验条件和目标老化时间 ( $t_k$ ) 条件下的有效态污染物浓度比值作为老化因子, 利用老化因子将短期 ( $t_0$ ) 实验得到的生物富集系数校正到一定老化时间 ( $t_k$ ) 下。

$$\text{老化因子} = f(t_0)/f(t_k) \quad (2)$$

式中:  $t_0$ ——文献中添加污染物后土壤培养时间;

$t_k$ ——归一化目标老化时间。

## 6.2 土壤性质归一化

### 6.2.1 生物有效性模型

(1) 数据充分且文献资料中已建立生物有效性模型, 可直接使用已有模型。

(2) 依据影响农作物吸收污染物的土壤性质建立土壤性质与富集系数之间的回归或经验模型。

(3) 数据不充分且文献资料中尚未建立生物有效性模型, 使用种间外推法建立农作物的生物有效性模型。

$$\text{生物有效性} = C_{\text{plant}}/C_{\text{soil}} \quad (3)$$

式中:  $C_{\text{plant}}$ ——可食部分污染物含量, mg/kg;

$C_{\text{soil}}$ ——土壤中污染物含量, mg/kg。

### 6.2.2 种间外推

以生物有效性预测值与测定值之间的误差和最小为条件规划求解获得各个物种对应不同模型的截距 ( $k$ )。根据优化求解获得的截距及模型中土壤性质参数的斜率计算各物种基于不同模型的预测生物有效性。

$$\log_{10}[\text{BCF}] = a \times \text{pH} + b \times \log_{10}[\text{CEC}/\text{OC}/\text{clay}] + k \quad (4)$$

式中:  $a$ 、 $b$ ——土壤性质参数斜率;

$k$ ——该品种富集重金属的固有敏感性指标。

### 6.2.3 种内变异

利用生物有效性模型将某种土壤的生物富集系数归一化到一定的土壤性质下, 对其进行归一化处理。归一化前后种内变异用同一作物公式 (5) 表示,

$$\text{种内变异} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(BCF_{si} - \overline{BCF_s})^2}{(n-1) \times (\overline{BCF_s})^2}} \quad (5)$$

式中:  $BCF_{si}$ ——第  $i$  个 BCF 归一化到特定条件下的值;

$\overline{BCF_s}$ —— $n$  个 BCFs 的平均值;

$n$ ——该物种 BCF 值的个数。

## 7 利用物种敏感性分布法推导 HC<sub>5</sub>

### 7.1 物种敏感性对作物品种的要求

采用物种敏感性分布法所需的农作物品种为：

(1) 当农用地作为整体，推导土壤环境基准时农作物的品种应当包括主流作物品种，如水稻、小麦和蔬菜三种主流作物在内的 10 个作物品种。

(2) 当推导农用地中单独一种用地时，如水田或旱地，应包括相应的 10 个品种以上。水田包括 10 个品种以上水稻；旱地需包括小麦在内的 10 个以上品种。

### 7.2 HC<sub>5</sub>的推导

常用的物种敏感性分布曲线有 Burr III、Log-normal、Log-logistic、Weibull 及 Gamma 等，应选取拟合优度最佳的物种敏感性分布曲线。公式见附录 B。

通过生物有效性模型把富集数据归一化到一定的土壤条件下，并通过食品安全标准反推出土壤污染物的最大允许含量，然后拟合不同土壤条件下的物种敏感性分布曲线，获得基于外源污染物的保护 95%农产品安全的 HC<sub>5</sub> 值。将土壤性质参数与 HC<sub>5</sub> 值做多元回归，获得 HC<sub>5</sub> 值的预测模型：

$$[HC_5]=f(\text{pH}, \text{CEC}, \text{OC}\dots)+k \quad (6)$$

基于外源污染物的土壤 HC<sub>5</sub> 可由公式 (6) 计算得出。将不同土壤 pH、CEC 和 OC 取值代入连续标准的计算方程求解得分段标准。

## 8 农产品安全土壤环境基准值的推导

### 8.1 PNEC 的推导

本标准基于土壤污染物外源添加的方法推导 PNEC。PNEC 按公式 (7) 进行推导：

$$\text{PNEC}=\text{HC}_5/\text{AF}+\text{C}_b \quad (7)$$

式中：AF——评估因子，取值为 1-2；

C<sub>b</sub>——土壤环境背景值。

注：当可用的污染物富集数据基于非常有限的物种、没有老化模型或生物有效性模型、归一化数据、富集数据不理想或没有将实验室获取的数据外推到实际田间污染情况时，AF 通常取值大于 1。如果富集数据来源于较多物种，且利用老化模型和生物有效性模型对数据进行校正，推导出的阈值利用田间数据进行验证时，AF 取值为 1。

### 8.2 田间数据验证

通过比较预测值和文献中的数据或田间实验的实测值来判断推导的 PNEC 的合理性。在 PNEC 范围内达到保障 85%的农作物安全。

### 8.3 农产品安全土壤环境基准值的确定

按照本标准推导出的农产品安全土壤环境基准属于数值型基准，一般保留 2 位有效数



字，单位 mg/kg。

## 9 不确定性分析

对推导出的农产品安全土壤环境基准进行不确定性分析。

(1) 5% SSD 统计的不确定性

体现在拟合度或置信区间的大小上，且考虑到不同的置信水平，比如 50%置信区间与 95%置信区间的 5% SSD 值。

(2) 拟合优度检验在 0.05 显著水平上的可拟合度低于 95%统计值的输入数据值可接受。

## 10 农产品安全土壤环境基准的审核

### 10.1 基准的自审核项目

土壤环境基准的最终确定需要仔细审核基准推导所用数据以及推导步骤，以确保基准合理可靠。自审项目如下：

- (1) 使用的数据是否符合数据质量要求。
- (2) 是否存在可疑数据。
- (3) 是否存在明显异常数据。
- (4) 是否遗漏其它重要数据。

### 10.2 基准的专家审核项目

- (1) 基准推导数据是否可靠。
- (2) 基准推导过程是否符合技术标准。
- (3) 基准的确定是否合理。

附录 A  
(资料性附录)  
土壤和污染物的分析

A.1 样品采集

土壤环境监测点位布设和样品采集等要求,执行 HJ/T 166 和 NY/T 395 等相关规定。

A.2 分析方法

土壤中污染物含量及理化性质的分析方法参照 GB/T 22105、GB/T 9834、GB/T 9836 和 GB/T 9837 等相关规定。

## 附录 B

### (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准则

##### B.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) Burr III 型函数

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

式中：y—累积概率，%；

x—毒性值，mg/kg；

b、c、k 为函数的三个参数。

(2) Log-normal 型函数

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

式中：y—累积概率，%；

x—毒性值，mg/kg；

$\mu$  和  $\sigma$  为函数参数。

(3) Log-logistic 型函数

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

式中：y—累积概率，%；

x—毒性值，mg/kg；

$\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  为函数参数。

(4) Weibull 型函数

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

式中：y—累积概率，%；

x—毒性值，mg/kg；

$\alpha$  和  $\beta$  为函数参数。

(5) Gamma 型函数

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

式中：y—累积概率，%；

x—毒性值，mg/kg；

$\alpha$  和  $\beta$  为函数参数。

## B.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如下：

### (1) 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：

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

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。

### (2) 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：

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

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。

### (3) 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。

附录 C  
(资料性附录)  
农产品安全土壤环境基准技术报告编制大纲

C.1 前言

- C.1.1 制定农产品安全土壤环境基准重要性和必要性
- C.1.2 污染物在农产品安全土壤环境基准方面的国内外研究进展
- C.1.3 我国农产品安全土壤环境基准的特异性

C.2 污染物质的环境问题概述

- C.2.1 性质与用途
- C.2.2 来源与分布
- C.2.3 存在方式

C.3 农产品安全土壤环境基准的推导

- C.3.1 土壤污染物富集数据收集
- C.3.2 土壤污染物富集数据归一化
- C.3.3 利用物种敏感性分布法推导 HC<sub>5</sub>
- C.3.4 田间数据验证

C.4 农产品安全土壤环境的审核

- C.4.1 不确定性分析
- C.4.2 其它需要说明的问题

C.5 参考文献