

中国环境科学学会标准

发布公告

2021 年 第 20 号（总第 38 号）

根据《中国环境科学学会标准管理办法》的相关规定，
现批准《重金属环境健康风险评估技术规范》（T/CSES
38-2021）标准，并予发布。

以上标准自 2021 年 9 月 30 日起实施。

特此公告。



团 体 标 准

T/CSES 38-2021

重金属环境健康风险评估技术规范

Technical specification for environmental health risk assessment of
heavy metals

2021-09-30 发布

2021-09-30 实施

中国环境科学学会 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 评估原则及评估程序	1
5 评估计划制定	2
6 暴露评估	3
7 危害识别	4
8 危害表征	4
9 风险表征	4
10 报告编制要求	6
附录 A（资料性） 重金属的毒性参数	8
参考文献	10

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。

本文件由生态环境部华南环境科学研究所提出。

本文件由中国环境科学学会归口。

本文件起草单位：生态环境部华南环境科学研究所、中科鼎实环境工程有限公司、湖北省生态环境科学研究院、广州珠江实业环境保护有限公司。

本文件主要起草人：于云江、向明灯、郑彤、刘爽、杨勇、凌海波、李苇苇、张文、郑盛之、易川、胡睿、王善仙、汪正东、郑晶、朱晓辉、刘振升、冯宇轩。

重金属环境健康风险评估技术规范

1 范围

本文件规定了重金属环境健康风险评估的原则、程序、内容、方法及技术要求。

本文件适用于镉、铬、钴、铜、铁、锰、汞、钼、镍、银、锌、钛、钒、铊、铋、锡等重金属及其化合物污染的环境健康风险评估。砷、铝、钠、铍、硼、硒、钡等其它金属或类金属污染的环境健康风险评估可参考执行。

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/T 27921 风险管理 风险评估技术
HJ 25.3—2019 建设用地土壤污染风险评估技术导则
HJ 839 环境与健康现场调查技术规范 横断面调查
HJ 875—2017 环境污染物人群暴露评估技术指南
HJ 1111 生态环境健康风险评估技术指南 总纲
T/CSES 36 区域环境污染健康风险评估技术导则

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

暴露介质 exposure media

人体接触或摄入污染物的环境物质条件，包括环境空气、环境水体、土壤、室内空气、室内积尘、饮用水及农畜水产品。

3.2

生物有效性 bioavailability

暴露介质（3.1）中的物质能被机体吸收并最终进入生物体内循环的比例。对于重金属而言，生物有效性是指人体接触或摄入重金属后，其能到达体内循环部分的比例。

3.3

生物可给性 bioaccessibility

物质进入生物体并被利用的比例，是最大生物有效性（3.2）的指示，亦称生物可利用性。对于重金属而言，生物可给性是指暴露介质中重金属与人体暴露界面（如口、鼻、皮肤等）相互作用后可能被利用部分的比例。

4 评估原则及评估程序

4.1 重金属环境健康风险评估应考虑的关键原则

4.1.1 明确环境管理中应重点关注的重金属

在进行重金属环境健康风险评估时，应根据特定评估目的，结合环境管理需求以及区域环境污染特

征，选择相应重金属进行环境健康风险评估。

4.1.2 区分背景水平和特定人类活动的贡献

在开展重金属环境健康风险评估时，应根据不同评估目的，对重金属背景水平和特定人类活动贡献造成的污染进行区分。

4.1.3 区分形态、价态差异

在开展重金属环境健康风险评估时，应识别不同暴露介质中重金属的形态（元素态、无机态、有机态）和价态差异，考虑其对重金属生物可给性、生物有效性和毒性效应的影响。

4.2 评估程序

重金属环境健康风险评估程序包括评估计划制定、暴露评估、危害评估（危害识别、危害表征）和风险表征，评估程序见图 1。

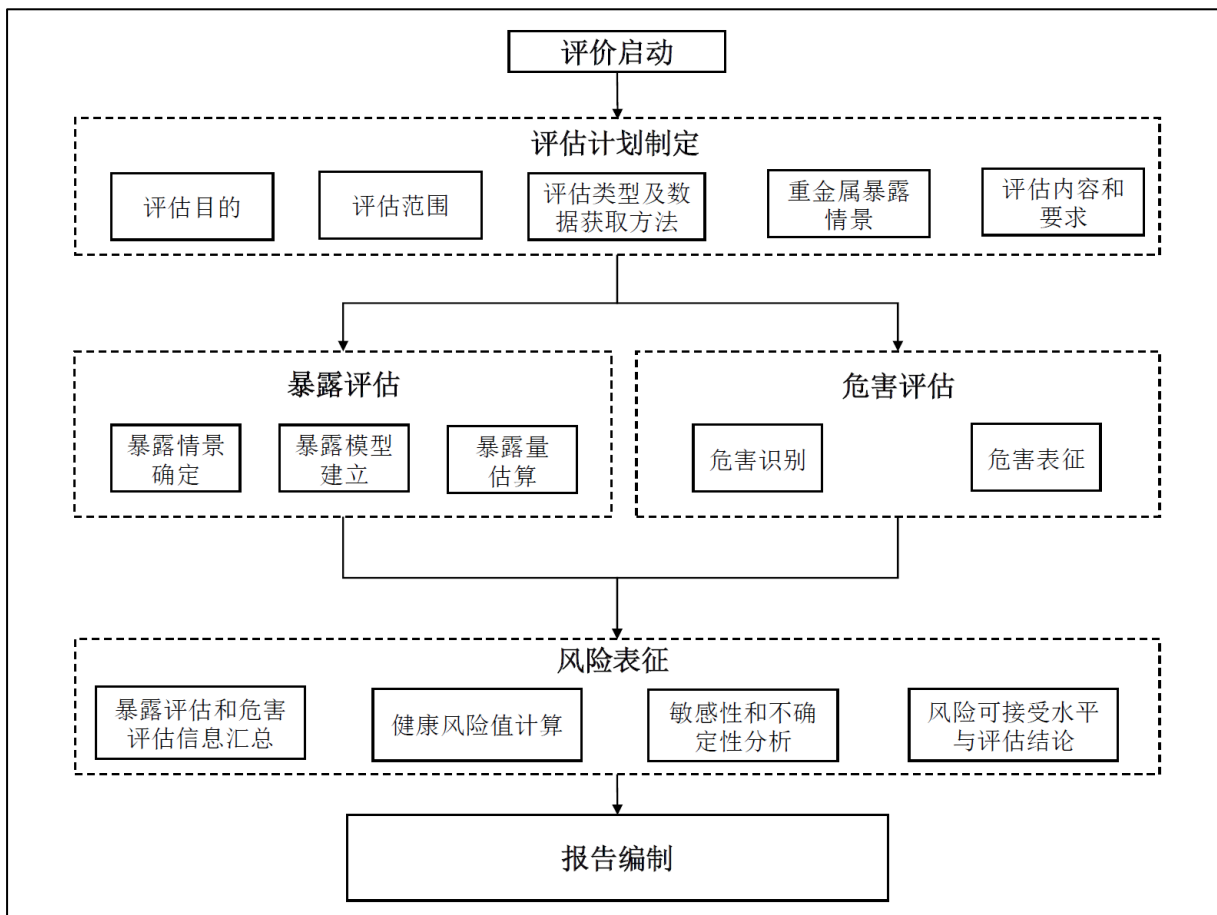


图1 重金属环境健康风险评估程序

5 评估计划制定

5.1 明确评估目的

开展风险评估前，风险评估人员应与风险管理者和利益相关方充分沟通，明确评估目的。基于不同评估目的可将重金属环境健康风险评估分为两大类：

- a) 国家/区域/流域评估：如基于健康风险的国家/区域/流域优先污染物筛选与排序、保护人体健康的环境基准/标准制定、化学品审查优先级确定等；
- b) 特定地点评估：如重点工业区及企业重金属环境健康风险评估、场地土壤重金属环境健康风险评估及安全阈值制定等。

5.2 明确评估范围

基于不同评估目的，确定重金属环境健康风险评估的评估范围，包括目标因素（重点关注的重金属），空间范围（特定地点、地区或国家等），时间范围（长期、短期等），目标人群（一般人群、敏感人群、高暴露人群等），具体要求按照 HJ 1111 执行。

5.3 确定评估类型及数据获取方法

5.3.1 基于不同的评估目的和范围，确定重金属环境健康风险评估的评估类型（定性评估、定量评估）；并明确评估数据的获取方法（应充分利用现有数据资料，必要时开展实验研究和现场调查，具体要求可按照 HJ 839 等相关标准执行）。如对于特定地点的评估，由于仅涉及单个地理区域，可以纳入本土化的重金属背景浓度、形态/价态以及人群暴露参数等方面数据；对于国家/地区级评估，可采用一般的保守性假设数据。

5.3.2 数据收集与评估步骤及技术方法按照 T/CSES 36 等相关标准执行。

5.4 确定重金属暴露情景

确定重点关注重金属的来源，识别暴露路径和暴露途径，以及最终暴露介质（环境空气、环境水体、土壤、室内空气、室内积尘、饮用水及农畜水产品）。

5.5 明确评估内容和要求

明确重金属环境健康风险评估中危害识别、危害表征、暴露评估和风险表征各过程的评估内容、方法、技术路线、质量控制和质量保证措施，并充分考虑重金属环境健康风险评估的关键原则，制定重金属环境健康风险评估方案。

5.6 确定最终评估方案

在此基础上，经充分征求风险管理者和利益相关方的意见，必要时可组织专家咨询论证，确定最终评估方案。

6 暴露评估

6.1 重金属暴露评估的一般步骤

重金属的暴露评估的一般步骤包括确定暴露情景、建立暴露模型和暴露量估算，具体技术要求可按照 HJ 875—2017、HJ 1111 执行。

6.2 重金属暴露评估应重点考虑的问题

除 HJ 875—2017、HJ 1111 规定的一般要求外，重金属暴露评估还应重点考虑以下几个方面问题，并进行定性描述或分析：

- a) 背景水平：风险评估人员应区分重点关注重金属在不同尺度的自然发生水平、现有背景水平及特定人类活动贡献水平，并对人类活动贡献新增的重金属水平进行健康风险评估；
- b) 生物有效性：暴露评估时应充分考虑重金属的生物有效性，收集重点关注重金属的生物可给性或生物有效性信息及数据，确定不同途径重金属暴露的生物有效性系数；如生物有效性数据缺乏，可用生物可给性系数代替；
- c) 易感人群：风险评估人员应识别重金属暴露易感人群，并在暴露评估不确定性分析时对生命成长阶段、生活方式、怀孕及哺乳期、并发损害或疾病以及营养状况等不同因素对暴露评估影响进行定性描述；

- d) 不同暴露途径的差异性：重金属经不同暴露途径进入人体，其生物可给性、生物有效性及靶器官效应存在较大差异，风险评估人员应对此方面因素进行识别和分析，如：
 - 1) 呼吸暴露途径应考虑颗粒物粒径对暴露的影响；
 - 2) 膳食暴露应考虑食物消费习惯带来的不确定性；
 - 3) 手-口接触暴露应区分室外土壤和室内积尘的差异性等。
- e) 暴露标志物：在可获得情况下，风险评估人员可以考虑纳入重金属暴露标志物，并与其参考水平或基准水平（如最大耐受量等）进行比较，以增加暴露评估的全面性。

7 危害识别

7.1 重金属危害识别的一般步骤

7.1.1 危害识别是确定重金属暴露是否会导致人体健康危害，识别其毒性效应及其作用模式或机制的过程。主要通过流行病学调查、体内试验、体外试验以及构效关系等科学数据和文献信息的收集、分析、整理和综合，对重金属暴露可能对人群健康产生的危害作出评估。

7.1.2 重金属危害识别一般步骤包括：数据收集、数据质量评价、证据综合、证据集成，具体技术要求可按照 HJ 1111 执行。

7.2 重金属危害识别应重点考虑的问题

7.2.1 金属形态：不同价态、形态重金属的毒性存在很大差异，风险评估人员应识别不同价态、形态重金属的危害特征。

7.2.2 复合污染相互作用：重金属往往以复合污染的形式存在，混合物中重金属的相互作用包括协同、加和、拮抗或独立。在数据资料或证据充分的情况下，风险评估人员可以考虑不同重金属之间的相互作用，以增加评估的精确性和科学性。具体方法可参考美国毒物与疾病登记署的《化学混物联合毒性作用评估导则》中靶器官毒性剂量的危害指数法及证据权重分析法。

8 危害表征

8.1 重金属危害表征的一般步骤

8.1.1 重金属危害表征主要以危害识别为基础，定性描述目标环境因素引起个体或群体发生有害效应的危害等级；或建立重金属暴露与有害效应之间的剂量-反应（效应）关系，推导毒性参数。

8.1.2 对于致癌效应毒性参数，常用致癌斜率因子（slope factor, SF）或单位风险因子（unit risk factor, IUR）表示；对于非致癌毒性参数，常用参考剂量（reference dose, RfD）或参考浓度（reference concentration, RfC）表示。

8.2 重金属毒性参数的确定

8.2.1 毒性参数优先采用国内外公开数据库的推荐值（参见附录 A）。

8.2.2 如对于某些重金属，现有毒性数据库中缺乏其毒性参数，可根据文献资料推导其毒性参数，具体技术方法见 HJ 1111 和 T/CSES 36 相关要求。

9 风险表征

9.1 风险表征的工作内容

综合暴露评估、危害识别和危害表征结果，定性或定量描述健康风险大小及其不确定性。风险表征的工作内容包括暴露评估和危害评估信息汇总、健康风险值估算、敏感性和不确定性分析、风险可接受水平与评估结论。

9.2 暴露评估和危害评估信息汇总

对暴露评估和危害评估的信息及数据进行汇总，形成暴露评估和危害评估摘要。

9.3 健康风险计算

9.3.1 非致癌风险计算

9.3.1.1 经呼吸吸入途径

经呼吸吸入途径暴露的非致癌风险用风险商进行描述，按照公式（1）计算：

$$HQ_{inh} = \frac{ADD_{inh}}{RfD_{inh}} \times IVBA_{inh} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- HQ_{inh} ——经呼吸吸入途径的危害商，无量纲；
 ADD_{inh} ——经呼吸吸入途径的日均暴露剂量，mg/(kg·d)；
 RfD_{inh} ——经呼吸吸入途径的参考剂量，mg/(kg·d)；
 $IVBA_{inh}$ ——经呼吸吸入重金属的生物有效性。

9.3.1.2 经口摄入途径

通过经口摄入途径（饮水、膳食或尘土）暴露的非致癌风险用风险商进行描述，按照公式（2）计算：

$$HQ_{oral} = \frac{ADD_{oral}}{RfD_{oral}} \times IVBA_{oral} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- HQ_{oral} ——经口摄入途径的危害商，无量纲；
 ADD_{oral} ——经口摄入途径的日均暴露剂量，mg/(kg·d)；
 RfD_{oral} ——经口摄入途径的参考剂量，mg/(kg·d)；
 $IVBA_{oral}$ ——经口摄入重金属的生物有效性。

9.3.1.3 经皮肤接触途径

对于经皮肤接触途径，已在暴露评估公式中考虑皮肤对化学污染物的吸收因子（ ABS_d ），风险计算公式中不再考虑其生物可给性或生物有效性，按照公式（3）计算：

$$HQ_{dermal} = \frac{ADD_{dermal}}{RfD_{dermal}} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

- HQ_{dermal} ——经皮肤接触途径的危害商，无量纲；
 ADD_{dermal} ——经皮肤接触途径的日均暴露剂量，mg/(kg·d)；
 RfD_{dermal} ——经皮肤接触途径的参考剂量，mg/(kg·d)，外推模型参考 HJ 25.3—2019 中的公式（B.4）。

9.3.2 致癌风险计算

9.3.2.1 经呼吸吸入途径

对无阈化合物，经呼吸吸入途径暴露的致癌风险按照公式（4）计算：

$$R_{inh} = ADD_{inh} \times SF_{inh} \times IVBA_{inh} \dots\dots\dots (4)$$

式中:

- R_{inh} ——经呼吸吸入途径的终生超额致癌风险, 无量纲;
- ADD_{inh} ——经呼吸吸入途径的日均暴露剂量, $mg/(kg \cdot d)$;
- SF_{inh} ——经呼吸吸入途径的致癌斜率因子, $[mg/(kg \cdot d)]^{-1}$;
- $IVBA_{inh}$ ——经呼吸吸入重金属的生物有效性。

9.3.2.2 经口摄入途径

对无阈化合物, 通过经口摄入(饮水、膳食或尘土)途径暴露的致癌风险按照公式(5)计算:

$$R_{oral} = ADD_{oral} \times SF_{oral} \times IVBA_{oral} \dots\dots\dots (5)$$

式中:

- R_{oral} ——经口摄入途径的终生超额致癌风险, 无量纲;
- ADD_{oral} ——经口摄入途径的日均暴露剂量, $mg/(kg \cdot d)$;
- SF_{oral} ——经口摄入途径的致癌斜率因子, $[mg/(kg \cdot d)]^{-1}$;
- $IVBA_{oral}$ ——经口摄入重金属的生物有效性。

9.3.2.3 经皮肤接触途径

对于经皮肤接触途径, 已在暴露评估公式(HJ 875—2017 中的公式(5))中考虑皮肤对化学污染物的吸收因子(ABS_d), 致癌风险计算公式中不再考虑其生物可给性或生物有效性, 按照公式(6)计算:

$$R_{dermal} = ADD_{dermal} \times SF_{dermal} \dots\dots\dots (6)$$

式中:

- R_{dermal} ——经皮肤接触途径的终生超额致癌风险, 无量纲;
- ADD_{dermal} ——经皮肤接触途径的日均暴露剂量, $mg/(kg \cdot d)$;
- SF_{dermal} ——经皮肤接触途径的致癌斜率因子, $[mg/(kg \cdot d)]^{-1}$, 外推模型参考 HJ 25.3—2019 中的公式(B.3)。

9.3.3 多途径暴露风险计算

多途径暴露的健康风险估算按照 T/CSES 36 规定的方法进行。

9.4 敏感性和不确定性分析

识别重金属风险评估全过程包括暴露评估、危害评估和风险表征各个不同阶段不确定性的来源, 并进行定性描述或定量分析。其中, 不确定性分析按照 GB/T 27921 中规定的蒙特卡洛模拟方法, 敏感性分析按照 HJ 875—2017 中规定的方法。

9.5 风险可接受水平与评估结论

9.5.1 本文件规定单一重金属非致癌风险的可接受危害商为 1, 致癌风险的可接受水平为 10^{-6} 。

9.5.2 根据风险可接受水平高低, 通过综合判断获得风险是否可接受的结论。当重金属环境健康风险不可接受或不能满足生态环境管理需求时, 应说明存在的重大环境健康风险及其关键环节。

10 报告编制要求

重金属人群健康风险评估报告应由评估方案（包括评估目的、评估范围、评估内容、评估步骤与方法、质量控制等）、危害识别、危害表征、暴露评估、风险表征和评估结论组成。具体编制要求按照HJ 1111执行。

附录 A
(资料性)
重金属的毒性参数

表A.1给出了重金属的毒性参数。

表A.1 重金属的毒性参数

CAS 编号	中文名称	呼吸吸入参考浓度 RfC(mg/m ³)		经口摄入参考剂量 RfD _o (mg/kg·d)		呼吸吸入致癌斜率因子 SF _m (mg/kg·d) ⁻¹		经口摄入致癌斜率 因子 SF _o (mg/kg·d) ⁻¹		呼吸吸入单位风险因 子 IUR (ug/m ³) ⁻¹	
		值	来源	值	来源	值	来源	值	来源	值	来源
7440-38-2	砷(无机)	1.5×10 ⁻⁵	OEHHA	3×10 ⁻⁴	IRIS	1.2×10 ¹	OEHHA	1.5	IRIS	4.3×10 ⁻³	IRIS
7440-43-9	镉	1×10 ⁻⁵	RSL	5×10 ⁻⁴ (饮水); 1×10 ⁻³ (食物)	IRIS	1.5×10 ¹	OEHHA	-	-	1.8×10 ⁻³	IRIS
7439-92-1	铅(无机)	-	-	-	-	4.2×10 ⁻²	OEHHA	8.5×10 ⁻³	OEHHA	1.2×10 ⁻⁵	OEHHA
16065-83-1	铬(三价)	-	-	1.5	IRIS	-	-	-	-	-	-
18540-29-9	铬(六价)	1×10 ⁻⁴	IRIS	3×10 ⁻³	IRIS	5.1×10 ²	OEHHA	1.2×10 ⁻²	IRIS	1.2×10 ⁻²	IRIS
7439-97-6	汞	3×10 ⁻⁴	IRIS	-	-	-	-	-	-	-	-
22967-92-6	甲基汞	-	-	1×10 ⁻⁴	IRIS	-	-	-	-	-	-
7429-90-5	铝	5×10 ⁻³	PPRTV	1	PPRTV	-	-	-	-	-	-
7440-36-0	铈	3×10 ⁻⁴	ATSDR	4×10 ⁻⁴	IRIS	-	-	-	-	-	-
7440-39-3	钡	5×10 ⁻⁴	RSL	0.2	IRIS	-	-	-	-	-	-
7440-41-7	铍	2×10 ⁻⁵	IRIS	2×10 ⁻³	IRIS	-	-	-	-	2.4×10 ⁻³	IRIS
7440-42-8	硼	2×10 ⁻²	RSL	0.2	IRIS	-	-	-	-		
7440-48-4	钴	6.0×10 ⁻⁶	PPRTV	3×10 ⁻⁴	PPRTV	-	-	-	-	9×10 ⁻³	PPRTV

表A.1 重金属的毒性参数 (续)

CAS 编号	中文名称	呼吸吸入参考浓度 RfC(mg/m ³)		经口摄入参考剂量 RfD _o (mg/kg·d)		呼吸吸入致癌斜率因子 SF _m (mg/kg·d) ⁻¹		经口摄入致癌斜率因子 SF _o (mg/kg·d) ⁻¹		呼吸吸入单位风险因子 IUR (ug/m ³) ⁻¹	
		值	来源	值	来源	值	来源	值	来源	值	来源
7440-50-8	铜	-	-	4×10 ⁻²	RSL	-	-	-	-	-	-
7439-89-6	铁	-	-	0.7	PPRTV	-	-	-	-	-	-
7439-96-5	锰	5×10 ⁻⁵	IRIS	0.14	IRIS	-	-	-	-	-	-
7439-98-7	钼	-	-	5×10 ⁻³	IRIS	-	-	-	-	-	-
7440-02-0	镍	9×10 ⁻⁵	ATSDR	2×10 ⁻²	IRIS	-	-	-	-	2.6×10 ⁻⁴	OEHHA
7782-49-2	硒	-	-	5×10 ⁻³	IRIS	-	-	-	-	-	-
7440-22-4	银	-	-	5×10 ⁻³	IRIS	-	-	-	-	-	-
7440-28-0	铊	-	-	1×10 ⁻⁵	RSL	-	-	-	-	-	-
7440-31-5	锡	-	-	0.6	RSL	-	-	-	-	-	-
1314-62-1	钒	7.0×10 ⁻⁶	PPRTV	9×10 ⁻³	IRIS	-	-	-	-	8×10 ⁻³	PPRTV
7440-66-6	锌	-	-	0.3	IRIS	-	-	-	-	-	-

注：IRIS 代表数据来自“美国环保局综合风险信息系统 (USEPA Integrated Risk Information System)”；ATSDR代表数据来自“美国毒物和疾病登记署 (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) 数据”；OEHHA 代表数据来自“美国加州环境健康危害评估办公室 (California Office of Environmental Health Hazard Assessment) 数据”；PPRTV代表数据来自美国环保局“临时性同行审定毒性数据 (The Provisional Peer Reviewed Toxicity Values)”；RSL代表数据来自美国环保局“区域筛选值 (Regional Screening Levels) 总表”污染物毒性数据 (2018年5月发布)。表格中未包含的污染物可参考以上数据库的最新版获取其参数。

参 考 文 献

[1] Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Guidance Manual for the Assessment of Joint Toxic Action of Chemical Mixtures[R/OL]. [2004-05-01]. <https://stacks.cdc.gov/view/cdc/6935>.
