

中华人民共和国国家标准

GB/T 43236—2023

城市生态风险评估技术指南

Technical guideline for urban ecological risk evaluation

2023-09-07 发布

2024-01-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

目 次

前言 Ⅲ

引言 Ⅳ

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 城市生态风险评估流程 2

5 城市生态风险评估指标体系 3

6 城市生态风险评估方法 5

7 评估结果的应用 9

附录 A(资料性) 单因素生态风险评估的计算方法 10

参考文献 21

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。

本文件由全国环境管理标准化技术委员会(SAC/TC 207)提出并归口。

本文件起草单位：中国科学院城市环境研究所、中国科学院生态环境研究中心、中国标准化研究院、北京师范大学、四川省环境政策研究与规划院。

本文件主要起草人：唐立娜、钱瑶、赵景柱、欧阳志云、张妍、张邈嘉、任玉芬、李倩瑜、陈彬、黄进、王恒、陈丁楷、邱全毅、石龙宇、赵洋、王璐妍、丁海芳、侯姗、刘冬梅、李翠。

引 言

城市面临的生态风险不仅仅来源于自然灾害或者有毒污染物泄漏等突发性环境事件。在快速、大规模城市化背景下,人口增长、产业发展和建设用地扩张等人为风险源对城市生态系统造成的干扰正在不断加剧,逐步导致我国大多数城市面临生态系统结构退化、生态系统稳定性下降,最终反映于城市生态系统服务质量的下降或丧失。如何在推进新型城镇化的过程中,防范城市化建设等人类社会经济活动产生的生态风险,保持并提升城市生态系统服务,日益受到党和国家的重视。本文件的制定旨在为各省、市、区在编制生态保护规划时提供城市生态风险评价和防控等技术流程与重要依据,为我国新型城镇化背景下的生态文明建设和生态环境管理提供技术支撑。

城市生态风险评价技术指南

1 范围

本文件提供了城市生态风险评价流程、指标体系、评价方法与评价结果应用的指南。
本文件适用于评价城市化建设开发过程中人类活动引起的生态风险。

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 3095 环境空气质量标准
GB 3838 地表水环境质量标准
GB 5085.7 危险废物鉴别标准 通则
GB/T 14848 地下水质量标准
GB 15618 土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准(试行)
GB 16889 生活垃圾填埋场污染控制标准
GB 18599 一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准
GB 36600 土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准(试行)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

生态风险 ecological risk

具有不确定性的事件对生态系统及其组分可能产生的损害。

3.2

胁迫 stressor

由风险源产生的可造成负面生态效应的物理、化学或生物实体及过程。

3.3

胁迫因子 stressor factor

对胁迫的定量描述。

注:能直接量化的胁迫。

3.4

风险受体 risk receptor

风险的承担者。

注:指暴露于胁迫下的个体、种群、群落或生态系统。

3.5

评价终点 **evaluation endpoint**

能有效表达生态环境价值且暴露于胁迫下的生态实体的某种属性。

[来源:SL/Z 467—2009,3.7,有修改]

3.6

评价终点指标 **evaluation endpoint indicator**

表征评价终点状态的可度量指标。

3.7

暴露 **exposure**

胁迫与风险受体之间现存或潜在的接触或共现。

[来源:SL/Z 467—2009,3.2,有修改]

3.8

生态效应 **ecological effects**

风险受体暴露于胁迫之后表现在评价终点上的效应特征。

3.9

单因素生态风险评价 **ecological risk evaluation of single factor**

评价风险源所释放的单个胁迫对风险受体的评价终点可能发生不良生态效应的过程。

3.10

生态风险综合评价 **comprehensive ecological risk evaluation**

综合风险受体的单胁迫评价结果,对风险受体的总体生态风险进行评价的过程。

4 城市生态风险评价流程

4.1 城市生态风险评价流程见图 1,主要包括风险组分辨识、指标体系构建和生态风险评价等。

4.2 风险组分辨识是确定城市生态风险的来源,查找和描述风险要素的过程,具体包括人为风险源、胁迫、风险受体以及评价终点等。

4.3 指标体系构建是基于暴露-响应关系,确定各组分具体的表征指标。

4.4 生态风险评价是定量评价风险源对风险受体产生的负面生态效应,主要包括单因素生态风险评价以及生态风险综合评价等。

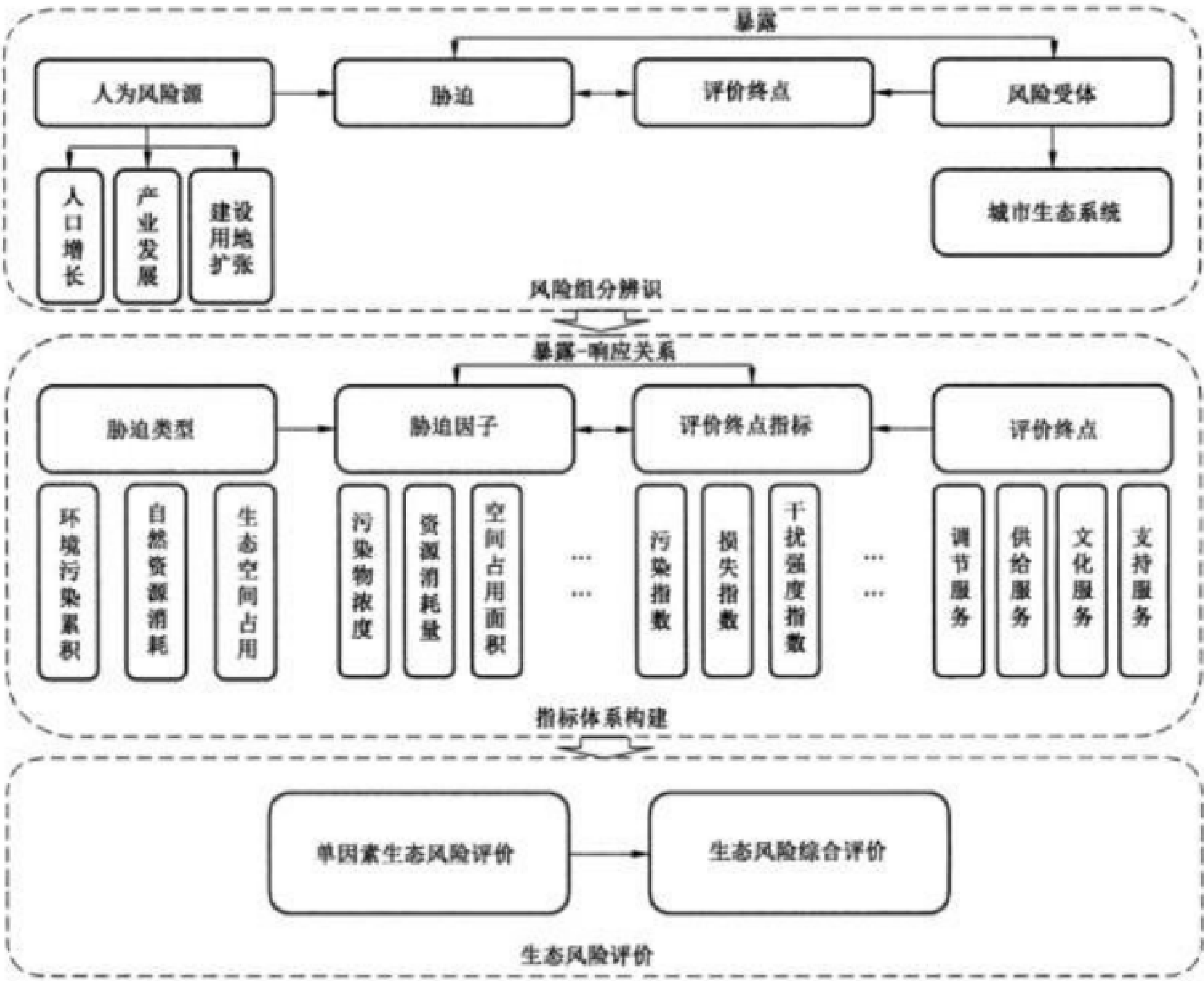


图 1 城市生态风险评价流程

5 城市生态风险评价指标体系

5.1 指标体系构建原则

5.1.1 城市生态风险评价指标体系宜由具有代表性的胁迫、可量化的胁迫因子,及对应的评价终点指标等组成。

5.1.2 在构建指标体系的过程中,宜全面梳理在城市化过程中面临的所有胁迫,尽可能保证所列胁迫的准确性和完整性。同时根据自然资源禀赋、面临的生境情况、城市发展定位等城市特征因素,筛选重要的胁迫因子。

5.1.3 具有代表性的胁迫包括环境污染累积、自然资源消耗、生态空间占用,其中:

- a) 环境污染累积胁迫包括大气污染、水污染、土壤污染、固体废物、噪声污染、光污染以及热污染等;
- b) 自然资源消耗胁迫包括水资源消耗、生物资源消耗以及生物多样性损失等;
- c) 生态空间占用胁迫包括重要生态功能区占用、生态安全网络破坏以及围填海(湖)等。

5.1.4 用户可根据评价目的,单独或并用 3 种胁迫类型的指标体系。

5.2 环境污染累积胁迫的生态风险评价指标体系

环境污染累积胁迫的生态风险评价指标体系见表 1。

表 1 环境污染累积胁迫的生态风险评价指标体系

胁迫	胁迫因子	评价终点指标	评价终点
大气污染	环境空气污染物基本指标	大气环境污染指数	1)维护空气质量； 2)调节气候； 3)控制侵蚀
	区域特征空气污染物指标		
水污染	地表水环境污染物指标	水环境污染指数	1)净化水质和处理废弃物； 2)养分循环
	地下水环境污染物指标		
	区域特征水污染物指标		
土壤污染	农用地土壤污染风险的基本指标	土壤环境污染指数	1)土壤形成； 2)提供栖息地； 3)供给食物； 4)初级生产
	建设用地土壤污染风险的基本指标		
	区域特征土壤污染物指标		
固体废物	暴露于生活垃圾渗滤液和生活垃圾填埋场周边地下水中的污染物指标	生活垃圾危害指数	1)土壤形成； 2)净化水质和处理废弃物； 3)养分循环
	工业固体废物渗滤液及其处理后排放水中的污染物指标	工业固体废物污染指数	
	工业固体废物无组织气体中的污染物指标		
	危险废物在填埋和焚烧的过程中产生的污染物指标	危险废物污染指数	
噪声污染	噪声指标	声环境污染指数	调节噪声
光污染	城市夜景照明辐照度指标	动植物生活生长干扰度指数	调节疾病、病虫害； 提供栖息地
热污染	城市不透水面像元的比辐射率指数	1)地表热环境指数	2)调节气候

5.3 自然资源消耗胁迫的生态风险评价指标体系

自然资源消耗胁迫的生态风险评价指标体系见表 2。

表 2 自然资源消耗胁迫的生态风险评价指标体系

胁迫	胁迫因子	评价终点指标	评价终点
水资源消耗	工业生产用水量	生产生活供水保障率指数	供给淡水
	农业灌溉用水量		
	居民生活用水量		
	生态需水量		
生物资源消耗	林业资源消耗量	农林牧渔资源保障率指数	1)供给木材和纤维； 2)供给燃料； 3)供给食物
	农业资源消耗量		
	牧业资源消耗量		
	渔业资源消耗量		

表 2 自然资源消耗胁迫的生态风险评价指标体系（续）

胁迫	胁迫因子	评价终点指标	评价终点
生物多样性损失	重点保护生物指数	生物多样性 损失指数	1)供给遗传资源； 2)提供栖息地； 3)消遣与生态旅游
	指示生物类群生命力指数		
	原生功能群种占比指数		

5.4 生态空间占用胁迫的生态风险评价指标体系

生态空间占用胁迫的生态风险评价指标体系见表 3。

表 3 生态空间占用胁迫的生态风险评价指标体系

胁迫	胁迫因子	评价终点指标	评价终点
重要生态功能区占用	土地利用变化后的生态系统水源 涵养服务能力指数	水源涵养功能重要性 丧失指数	1)提供栖息地； 2)控制侵蚀； 3)消遣与生态旅游； 4)调节水分； 5)净化水质和处理废 弃物； 6)控制自然灾害； 7)初级生产
	土地利用变化后的生态系统水土保持 服务能力指数	水土保持功能重要性 丧失指数	
	土地利用变化后的生态系统防风固沙 服务能力指数	防风固沙功能重要性 丧失指数	
	土地利用变化后的生态系统生物多样性 服务能力指数	生物多样性功能重要性 丧失指数	
	土地利用变化后的生态系统水土流 失敏感性指数	水土流失敏感性 增强指数	
	土地利用变化后的生态系统土壤沙化 敏感性指数	土壤沙化敏感性 增强指数	
生态安全网络破坏	路网铺装面积 (干线公路车道、铁路)	生境质量干扰强度 指数	1)提供栖息地； 2)消遣与生态旅游； 3)美学价值
	重要斑块面积与相间距离	重要生态空间 连通度指数	
围填海(湖)	填海(湖)造地面积、围海(湖)面积、 构筑物用海(湖)面积	海(水)域开发 强度指数	1)提供栖息地； 2)消遣与生态旅游

6 城市生态风险评价方法

6.1 评价方法选取原则

生态风险评价时,宜采用单因素生态风险评价方法用于衡量单个胁迫对风险受体造成的不良生态效应,宜采用生态风险综合评价方法用于衡量城市整体的生态风险。

6.2 单因素生态风险评价方法

6.2.1 环境污染累积胁迫对应的评价终点指标及其生态风险评价方法

6.2.1.1 大气环境污染指数

大气环境污染指数反映城市大气环境的生态风险程度。大气环境污染指数越大,反映城市生态系统受大气污染的胁迫程度越高,生态风险越大。环境空气污染物的选择宜参照 GB 3095,宜采用环境空气污染物基本项目作为衡量大气环境污染的胁迫因子,包括二氧化硫(SO_2)、二氧化氮(NO_2)、一氧化碳(CO)、臭氧(O_3)、颗粒物粒径小于或等于 $10\ \mu\text{m}$ (PM_{10})、颗粒物粒径小于或等于 $2.5\ \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2.5}$)。环境空气污染物的其他项目可作为区域特征指标,由地方生态环境主管部门根据区域空气污染特点和生态环境管理需求进行选择,并酌情纳入风险评价指标体系。大气环境污染指数的计算公式见附录 A 中的公式(A.1)、公式(A.2)。

6.2.1.2 水环境污染指数

水环境污染指数反映城市地表水和/或地下水的生态风险程度。水环境污染指数越大,反映城市生态系统受水污染的胁迫程度越高,生态风险越大。地表水环境污染物的选择宜参照 GB 3838,采用地表水环境质量标准基本项目或集中式生活饮用水地表水源地特定项目作为衡量地表水环境污染的胁迫因子。地下水环境污染物的选择宜参照 GB/T 14848,以地下水质量的常规指标为主、地下水质量的非常规指标为辅作为衡量地下水环境污染的胁迫因子,包括一般化学指标、微生物指标、毒理学指标和放射性指标等。水环境污染物中的其他项目可作为区域特征指标,由地方生态环境主管部门根据区域水污染特点和生态环境管理需求进行选择,并酌情纳入风险评价指标体系。水环境污染指数的计算公式见附录 A 中的公式(A.3)、公式(A.4)。

6.2.1.3 土壤环境污染指数

土壤环境污染指数反映城市土壤的生态风险程度。对单种土壤污染物的风险评价见附录 A 中的公式(A.5);对多种土壤污染物的综合评价可采用内梅罗污染指数法,具体评价方法见附录 A 中的公式(A.6)。土壤环境污染指数越大,反映城市生态系统受土壤污染的胁迫程度越高,生态风险越大。建设用地土壤污染物的选择宜参照 GB 36600,采用镉(Cd)、汞(Hg)、砷(As)、铅(Pb)、铬(Cr)、铜(Cu)、镍(Ni)7项重金属和无机物指标作为衡量建设用地土壤污染物的胁迫因子;基本项目中的挥发性有机物和半挥发性有机物以及其他项目等可作为区域特征指标,由地方生态环境主管部门根据区域土壤污染特点和生态环境管理需求进行选择,并酌情纳入风险评价指标体系。农用地土壤污染物的选择宜参照 GB 15618,采用农用地土壤污染风险的基本项目作为衡量农用地土壤污染的胁迫因子,包括镉(Cd)、汞(Hg)、砷(As)、铅(Pb)、铬(Cr)、铜(Cu)、镍(Ni)、锌(Zn);其他项目可作为区域特征指标,由地方生态环境主管部门根据区域土壤污染特点和生态环境管理需求进行选择,并酌情纳入风险评价指标体系。土壤环境污染指数的计算公式见附录 A 中的公式(A.5)、公式(A.6)。

6.2.1.4 生活垃圾危害指数

生活垃圾危害指数反映由人类活动产生的生活垃圾对城市生态系统造成的风险程度,该指数越大,反映城市生态系统受生活垃圾污染的胁迫程度越高,生态风险越大。生活垃圾宜参照 GB 16889 中规定的污染物项目作为胁迫因子,评价生活垃圾渗滤液和生活垃圾填埋场周边地下水的风险程度。生活垃圾危害指数的计算公式见附录 A 中的公式(A.7)。

6.2.1.5 工业固体废物污染指数

工业固体废物污染指数反映城市生产建设产生的工业固体废物对城市生态系统造成的风险程度,该指数越大,反映城市生态系统受工业固体废物污染的胁迫程度越高,生态风险越大。工业固体废物在贮存及填埋过程中,工业固体废物渗滤液及其处理后的排放水和无组织气体,对土壤环境、水环境,以及大气环境产生风险。根据贮存及填埋废物的特性,宜参照 GB 18599 选择具有代表性且能表征固体废物特性的工业固体废物污染胁迫因子。工业固体废物污染指数的计算公式见附录 A 中的公式(A.8)~公式(A.12)。

6.2.1.6 危险废物污染指数

危险废物污染指数反映城市生产建设产生的危险废物对城市生态系统造成的风险程度,该指数越大,反映城市生态系统受危险废物污染的胁迫程度越高,生态风险越大。危险废物宜参照 GB 5085.7 进行鉴别。危险废物在填埋和焚烧的过程中会产生污染物,宜选择污染物中的一种或多种作为胁迫因子。危险废物污染指数的计算公式见附录 A 中的公式(A.8)、公式(A.9)、公式(A.13)~公式(A.15)。

6.2.1.7 声环境污染指数

声环境污染指数反映在人口增长与产业发展过程中产生的噪声污染对城市生态系统造成的风险程度,该指数越大,反映城市生态系统受噪声污染的胁迫程度越高,生态风险越大。声环境污染指数的计算公式见附录 A 中的公式(A.16)。

6.2.1.8 动植物生活生长干扰度指数

动植物生活生长干扰度指数反映城市中由人类活动产生的光污染对动植物造成的风险程度。当城市夜景照明辐照度实测值大于动(植)物正常生活生长辐照度阈值时,表明光污染对动(植)物生活生长造成胁迫,具有生态风险。动植物生活生长干扰度指数的计算公式见附录 A 中的公式(A.17)。

6.2.1.9 地表热环境指数

地表热环境指数反映城市土地利用变化和日常生产生活等热污染造成的风险程度,该指数越大,反映城市生态系统受热污染的胁迫程度越高,生态风险越大。地表热环境指数的计算公式见附录 A 中的公式(A.18)。

6.2.2 自然资源消耗胁迫对应的评价终点指标及其生态风险评价方法

6.2.2.1 生产生活供水保障率指数

生产生活供水保障率指数用于衡量工业生产、农业灌溉、居民生活以及生态需水等水资源需求与供应能否维持平衡。该指标越大,表示水资源保障程度越高,对城市生态系统在供给淡水等生态系统服务方面造成的生态风险越低。生产生活供水保障率指数的计算公式见附录 A 中的公式(A.19)。

6.2.2.2 农林牧渔资源保障率指数

农林牧渔资源保障率指数用于衡量城市对农、林、牧、渔等生物资源的供应与需求能否维持平衡。该指标越大,表示农林牧渔资源的保障程度越高,对城市生态系统在供给食物、供给木材和纤维等生态系统服务方面造成的生态风险越低。农林牧渔资源保障率指数的计算公式见附录 A 中的公式(A.20)。

6.2.2.3 生物多样性损失指数

生物多样性损失指数是反映生物资源开发利用活动对生物安全造成的风险,衡量动植物和微生物

遗传资源流失、外来物种入侵以及其他生物资源受损程度。该指标越大,生物多样性的损失程度越高,生态风险越大。生物多样性损失指数的计算公式见附录 A 中的公式(A.21)~公式(A.25)。

6.2.3 生态空间占用胁迫对应的评价终点指标及其生态风险评价方法

6.2.3.1 水源涵养功能重要性丧失指数

水源涵养功能重要性丧失指数用于衡量城市建设用地扩张导致的土地利用变化引起城市生态系统水源涵养服务能力受损程度。当该指标小于 0 时,反映土地利用变化后的城市生态系统的水源涵养服务能力降低。该指标越小,水源涵养功能重要性丧失程度越高,生态风险越大。水源涵养功能重要性丧失指数的计算公式见附录 A 中的公式(A.26)、公式(A.27)。

6.2.3.2 水土保持功能重要性丧失指数

水土保持功能重要性丧失指数用于衡量城市建设用地扩张导致的土地利用变化引起城市生态系统水土保持服务能力受损程度。当该指标小于 0 时,反映土地利用变化后的城市生态系统的水土保持服务能力降低。该指标越小,水土保持功能重要性丧失程度越高,生态风险越大。水土保持功能重要性丧失指数的计算公式见附录 A 中的公式(A.28)、公式(A.29)。

6.2.3.3 防风固沙功能重要性丧失指数

防风固沙功能重要性丧失指数用于衡量城市建设用地扩张导致的土地利用变化引起城市生态系统防风固沙服务能力受损程度。当该指标小于 0 时,反映土地利用变化后的城市生态系统的防风固沙服务能力降低。该指标越小,防风固沙功能重要性丧失程度越高,生态风险越大。防风固沙功能重要性丧失指数的计算公式见附录 A 中的公式(A.30)、公式(A.31)。

6.2.3.4 生物多样性功能重要性丧失指数

生物多样性功能重要性丧失指数用于衡量城市建设用地扩张导致的土地利用变化引起城市生态系统生物多样性服务能力受损程度。当该指标小于 0 时,反映土地利用变化后的城市生态系统的生物多样性服务能力降低。该指标越小,生物多样性功能重要性丧失程度越高,生态风险越大。生物多样性功能重要性丧失指数的计算公式见附录 A 中的公式(A.32)、公式(A.33)。

6.2.3.5 水土流失敏感性增强指数

水土流失敏感性增强指数用于衡量城市建设用地扩张导致的土地利用变化引起城市生态系统水土流失灾害发生的风险程度。该指标越大,反映城市生态系统的水土流失敏感性增强程度越高,生态风险越大。水土流失敏感性增强指数的计算公式见附录 A 中的公式(A.34)、公式(A.35)。

6.2.3.6 土壤沙化敏感性增强指数

土壤沙化敏感性增强指数用于衡量城市建设用地扩张导致的土地利用变化引起城市生态系统土壤沙化灾害发生的风险程度。该指标越大,反映城市生态系统的土壤沙化敏感性增强程度越高,生态风险越大。土壤沙化敏感性增强指数的计算公式见附录 A 中的公式(A.36)、公式(A.37)。

6.2.3.7 生境质量干扰强度指数

生境质量干扰强度指数反映城市交通路网扩张造成的风险程度,宜选择干线公路车道和铁路的路网铺装面积等作为胁迫因子。该指数越大,反映城市生态系统中的生物栖息地受到的负面影响越大,生态风险越大。生境质量干扰强度指数的计算公式见附录 A 中的公式(A.38)~公式(A.47)。

6.2.3.8 重要生态空间连通度指数

重要生态空间连通度指数用于评价重要生态空间斑块之间的整体连通程度,以重要生态空间斑块的面积与相间距离作为胁迫因子。该指数越小,表明区域内重要斑块的空间连接度越低,生态风险越大。重要生态空间连通度指数的评价方法见《区域生态质量评价方法(试行)》,计算公式见附录 A 中的公式(A.48)、公式(A.49)。

6.2.3.9 海(水)域开发强度指数

海(水)域开发强度指数指研究区海岸线向海(湖)一侧,填海(湖)造地、围海(湖)、构筑物用海(湖)面积之和占管辖海(湖)域面积比例情况,反映城市生态系统周边围填海(湖)活动的强弱程度,以填海(湖)造地面积、围海(湖)面积、构筑物用海(湖)面积作为胁迫因子。该指数越大,表明海(水)域在提供栖息地等生态系统服务受到的负面影响越大,生态风险越大。海(水)域开发强度指数的评价方法见《区域生态质量评价方法(试行)》,计算公式见附录 A 中的公式(A.50)。

6.3 生态风险综合评价方法

城市生态风险综合评价值按公式(1)计算。其中,权重的赋值宜采用层次分析法(AHP)与专家打分法等相结合的方式。可邀请相关部门和专家用 1-9 标度法逐层对各个指标打分,确定指标间两两相对重要性的比值,建立比较判断矩阵,通过矩阵运算和一致性检验,得到指标大类间相对重要性的权重、各个指标相对于上一层次指标大类相对重要性的权重,按照层次结构自上而下逐层对两级指标权重进行加权,进而得出各个指标的权重。

$$\begin{cases} Y = \sum_{i=1}^n X_i \times w_i \\ w_1 + w_2 + \cdots + w_n = 1 \end{cases} \quad \cdots \cdots \cdots (1)$$

- 式中:
- Y ——城市生态风险综合评价值;
 - X_i ——归一化后的第 i 个因素对应的生态风险评价值;
 - n ——因素的个数;
 - w_i ——第 i 个因素对应的权重。

7 评价结果的应用

- 7.1 单个评价结果可作为定量评价城市生态系统受到某一种胁迫时判定风险的依据,综合多个评价结果可作为综合评价城市生态系统受到多种胁迫时判定风险的依据。
- 7.2 同一城市不同时段的评价结果,可进行时间序列上的纵向比较,从而判定生态风险的变化趋势,以进行预警分析及对策研究和实施。
- 7.3 不同城市同一时段的评价结果,可进行空间梯度上的横向比较,从而分析不同城市的生态风险程度,以进行对比分析和对策研究。

附 录 A
(资料性)
单因素生态风险的计算方法

A.1 大气环境污染指数

大气环境中单种污染物的污染指数的计算方法见公式(A.1)。大气环境污染指数的计算可采用内梅罗指数法,计算方法见公式(A.2)。

$$API_i = \frac{APM_i}{AQS_i} \dots\dots\dots (A.1)$$

$$API_{\text{总}} = \sqrt{\frac{API_{\text{ave}}^2 + API_{\text{max}}^2}{2}} \dots\dots\dots (A.2)$$

- 式中:
- API_i ——大气环境中第*i*种污染物的污染指数;
 - APM_i ——大气环境中第*i*种污染物的实测值,单位为毫克每立方米(mg/m³);
 - AQS_i ——第*i*种污染物的环境空气质量浓度标准,单位为毫克每立方米(mg/m³),参照GB 3095中的对应项;
 - API_{ave} ——大气环境中全部评价污染物单项污染指数的平均值;
 - API_{max} ——大气环境中全部评价污染物单项污染指数中的最大值;
 - $API_{\text{总}}$ ——大气环境污染指数。

A.2 水环境污染指数

地表水/地下水中单种污染物的污染指数计算方法见公式(A.3)。水环境污染指数的计算可采用内梅罗指数法,计算方法见公式(A.4)。

$$WPI_i = \frac{WPM_i}{WQS_i} \dots\dots\dots (A.3)$$

$$WPI_{\text{总}} = \sqrt{\frac{WPI_{\text{ave}}^2 + WPI_{\text{max}}^2}{2}} \dots\dots\dots (A.4)$$

- 式中:
- WPI_i ——地表水/地下水中第*i*种污染物的污染指数;
 - WPM_i ——地表水/地下水中第*i*种污染物的实测值,单位为毫克每升(mg/L);
 - WQS_i ——地表水/地下水中第*i*种污染物的水环境质量浓度标准,单位为毫克每升(mg/L),地表水和地下水环境污染物质浓度的标准限值分别参照GB 3838和GB/T 14848中的对应项;
 - WPI_{ave} ——地表水/地下水中全部评价污染物单项污染指数的平均值;
 - WPI_{max} ——地表水/地下水中全部评价污染物单项污染指数中的最大值;
 - $WPI_{\text{总}}$ ——水环境污染指数。

A.3 土壤环境污染指数

土壤中单种污染物的污染指数计算方法见公式(A.5)。土壤环境污染指数的计算可采用内梅罗指

数法,计算方法见公式(A.6)。

$$SPI_i = \frac{SPM_i}{SQS_i} \dots\dots\dots (A.5)$$

$$SPI_{\text{总}} = \sqrt{\frac{SPI_{\text{ave}}^2 + SPI_{\text{max}}^2}{2}} \dots\dots\dots (A.6)$$

式中:

SPI_i ——土壤中第*i*种污染物的污染指数;

SPM_i ——土壤中第*i*种污染物的实测值,单位为毫克每千克(mg/kg);

SQS_i ——第*i*种污染物的参比值,建设用地土壤风险筛选值与风险管制值参照 GB 36600 中的对应项,农用地土壤风险筛选值与风险管制值参照 GB 15618 中的对应项,单位为毫克每千克(mg/kg);

SPI_{ave} ——土壤中全部评价污染物单项污染指数的平均值;

SPI_{max} ——土壤中全部评价污染物单项污染指数中的最大值;

$SPI_{\text{总}}$ ——土壤环境污染指数。

A.4 生活垃圾危害指数

生活垃圾危害指数的计算方法见公式(A.7)。

$$HQ = \frac{D_e}{D_h} \dots\dots\dots (A.7)$$

式中:

HQ ——生活垃圾危害指数;

D_e ——暴露于生活垃圾渗滤液和生活垃圾填埋场周边地下水中的污染物实测环境浓度,单位为纳克每升(ng/L);

D_h ——预测的无效应浓度,单位为纳克每升(ng/L)。通过查阅文献获得,或通过收集急性、慢性毒理学实验数据等计算获得。

A.5 工业固体废物污染指数

工业固体废物渗滤液及其处理后的排放水对城市产生的生态风险包括排放时及进入生态系统循环后的风险。排放后,参照 GB 8978 中规定的污染物项目,渗滤液及其处理后的排放水污染指数的计算方法见公式(A.8)、公式(A.9)。进入循环后,参照 GB/T 14848 规定的污染物项目,水环境(地下水)污染指数的计算方法见公式(A.3)、公式(A.4);参照 GB 36600 或 GB 15618 中规定的污染物项目,土壤环境污染指数的计算方法见公式(A.5)、公式(A.6);参照 GB 16297 和 GB 37822 规定的项目,无组织/有组织气体排放污染指数的计算方法见公式(A.10)、公式(A.11)。工业固体废物污染指数宜采用加权法,计算方法见公式(A.12)。

$$DWPI_i = \frac{DWPM_i}{DWQS_i} \dots\dots\dots (A.8)$$

$$DWPI_{\text{总}} = \sqrt{\frac{DWPI_{\text{ave}}^2 + DWPI_{\text{max}}^2}{2}} \dots\dots\dots (A.9)$$

$$FGPI_i = \frac{FGPM_i}{FGCL_i} \dots\dots\dots (A.10)$$

$$FGPI_{\text{总}} = \sqrt{\frac{FGPI_{\text{ave}}^2 + FGPI_{\text{max}}^2}{2}} \dots\dots\dots (A.11)$$

$$\begin{cases} ISWPI = \gamma_1 \times DWPI_{\text{总}} + \gamma_2 \times WPI_{\text{总}} + \gamma_3 \times SPI_{\text{总}} + \gamma_4 \times FGPI_{\text{总}} \\ \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 + \gamma_4 = 1 \end{cases} \dots\dots\dots (A.12)$$

式中：

- $DWPI_i$ —— 渗滤液及其处理后的排放水中第 i 种污染物的污染指数；
- $DWPM_i$ —— 渗滤液及其处理后的排放水中第 i 种污染物的实测值，单位为毫克每升 (mg/L)；
- $DWQS_i$ —— 渗滤液及其处理后的排放水中第 i 种污染物最高允许排放浓度，单位为毫克每升 (mg/L)。针对 $DWQS_i$ 的选择，若各行业、区域或地方出台了更严格的污水综合排放标准，参照污染物最高允许排放浓度执行；
- $DWPI_{\text{总}}$ —— 渗滤液及其处理后的排放水污染指数；
- $DWPI_{\text{ave}}$ —— 渗滤液及其处理后的排放水单项污染指数中的平均值，单位为毫克每升 (mg/L)；
- $DWPI_{\text{max}}$ —— 渗滤液及其处理后的排放水单项污染指数中的最大值，单位为毫克每升 (mg/L)；
- $FGPI_i$ —— 无组织气体/有组织气体排放中第 i 种污染物的污染指数；
- $FGPM_i$ —— 无组织气体/有组织气体排放中第 i 种污染物的实测值，单位为毫克每立方米 (mg/m³)；
- $FGCL_i$ —— 无组织气体/有组织气体排放中第 i 种污染物监控浓度限值，单位为毫克每立方米 (mg/m³)；
- $FGPI_{\text{总}}$ —— 无组织气体/有组织气体排放污染指数；
- $FGPI_{\text{ave}}$ —— 无组织气体/有组织气体排放中单项污染指数中的平均值，单位为毫克每立方米 (mg/m³)；
- $FGPI_{\text{max}}$ —— 无组织气体/有组织气体排放中单项污染指数中的最大值，单位为毫克每立方米 (mg/m³)；
- $ISWPI$ —— 工业固体废物污染指数；
- $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4$ —— 权重，取值范围为 0~1。

A.6 危险废物污染指数

针对危险废物填埋，宜参照 GB 18598 中规定的污染物项目作为胁迫因子，危险废物渗滤液及其处理后的排放水污染指数的计算方法见公式(A.8)、公式(A.9)。针对危险废物焚烧，宜参照 GB 18484 中规定的污染物项目作为胁迫因子，危险废物焚烧烟气污染指数的计算方法见公式(A.13)、公式(A.14)。危险废物污染指数的计算采用加权的方法，计算方法见公式(A.15)。

$$HWII_i = \frac{HWPM_i}{HWCL_i} \dots\dots\dots (A.13)$$

$$HWII_{\text{总}} = \sqrt{\frac{HWII_{\text{ave}}^2 + HWII_{\text{max}}^2}{2}} \dots\dots\dots (A.14)$$

$$\begin{cases} HWPI = \delta_1 \times DWPI_{\text{总}} + \delta_2 \times HWII_{\text{总}} \\ \delta_1 + \delta_2 = 1 \end{cases} \dots\dots\dots (A.15)$$

式中：

- $HWII_i$ —— 危险废物焚烧烟气中第 i 种污染物的污染指数；

$HWPM_i$ ——危险废物焚烧烟气中第 i 种污染物的实测值,单位为毫克每立方米(mg/m^3);
 $HWCL_i$ ——第 i 种危险废物焚烧设施烟气污染物的排放浓度限值,单位为毫克每立方米(mg/m^3),参照 GB 18484 中的对应项;
 $HWII_{\text{总}}$ ——危险废物焚烧烟气污染指数;
 $HWII_{\text{ave}}$ ——危险废物焚烧烟气中单项污染指数中的平均值;
 $HWII_{\text{max}}$ ——危险废物焚烧烟气中单项污染指数中的最大值;
 $HWPI$ ——危险废物污染指数;
 δ_1, δ_2 ——权重,取值范围为 0~1。

A.7 声环境污染指数

声环境污染指数的计算方法见公式(A.16)。

$$SPI_i = \frac{MEN_i}{ENCL_i} \dots\dots\dots (A.16)$$

式中:
 SPI_i ——第 i 采样点的声环境污染指数;
 MEN_i ——第 i 采样点的环境噪声实测值,单位为分贝[dB(A)];
 $ENCL_i$ ——第 i 采样点的环境噪声限值,单位为分贝[dB(A)],如表 A.1 所示。

表 A.1 环境噪声等效声级限值

单位为分贝

声环境功能区类别		时段	
		昼间	夜间
0 类		50	40
1 类		55	45
2 类		60	50
3 类		65	55
4 类	4a 类	70	55
	4b 类	70	60

A.8 动植物生活生长干扰度指数

动植物生活生长干扰度指数的计算可采用阈值法,计算方法见公式(A.17)。

$$APG_i = \begin{cases} 0, L < T_i \\ 1, L \geq T_i \end{cases} \dots\dots\dots (A.17)$$

式中:
 APG_i ——第 i 种动(植)物生活生长干扰度指数;
 L ——城市夜景照明辐照度实测值,单位为毫瓦每平方米(mW/m^2);
 T_i ——第 i 种动(植)物正常生活生长辐照度阈值,单位为毫瓦每平方米(mW/m^2)。

A.9 地表热环境指数

地表热环境指数的计算方法见公式(A.18)。

$$STEI = \frac{LST}{TEP} \dots\dots\dots (A.18)$$

- 式中：
- $STEI$ ——地表热环境指数；
 - LST ——地表温度,单位为摄氏度(℃)；
 - TEP ——多年平均的该月温度,单位为摄氏度(℃)。

对地表温度可采用实地监测法或遥感反演法进行衡量或估算。当采用遥感反演法估算地表温度时,宜采用辐射传输方程法(大气校正法)、经验公式模型等方法。

A.10 生产生活供水保障率指数

生产生活供水保障率指数的计算方法见公式(A.19)。

$$WG_i = \frac{SWR_i}{CW_i} \dots\dots\dots (A.19)$$

- 式中：
- WG_i ——第*i*种需求的水资源保障率；
 - SWR_i ——第*i*种需求的水资源供应量,单位为万立方米每年(10⁴ m³/a)；
 - CW_i ——第*i*种需求的水资源消费量,单位为万立方米每年(10⁴ m³/a)。

A.11 农林牧渔资源保障率指数

农林牧渔资源保障率指数的计算方法见公式(A.20)。

$$BG_i = \frac{BSR_i}{BC_i} \dots\dots\dots (A.20)$$

- 式中：
- BG_i ——第*i*种生物资源保障率；
 - BSR_i ——第*i*种生物资源供应量,单位可根据评价内容确定；
 - BC_i ——第*i*种生物资源消费量,单位可根据评价内容确定。

A.12 生物多样性损失指数

生物多样性损失指数的计算方法见公式(A.21)、公式(A.22)。

$$\Delta BD = |BD_1 - BD_0| \dots\dots\dots (A.21)$$

$$BD = 0.30 \times KS_i + 0.70 \times (0.62 \times Q_i + 0.38 \times B_{ps}) \dots\dots\dots (A.22)$$

- 式中：
- ΔBD ——生物多样性损失指数；
 - BD_0 ——损害发生前的生物多样性指数；
 - BD_1 ——损害发生后的生物多样性指数；

- BD ——生物多样性指数；
 KS_t ——重点保护生物指数；
 Q_t ——指示生物类群生命力指数；
 B_{ps} ——原生功能群种占比指数。

其中，重点保护生物指数是指研究区内已记录的列入《国家重点保护野生动物名录》和《国家重点保护野生植物名录》的高等植物、哺乳类、鸟类、爬行类和两栖类的物种数，用于表征研究区生物物种被保护情况，计算方法见公式(A.23)。

$$KS_t = A_{KS} \times AKS + 13.214\ 2 \quad \dots\dots\dots (A.23)$$

式中：

- A_{KS} ——重点保护生物指数的归一化系数，参考值为 0.151 0；
 AKS ——研究区内列入《国家重点保护野生动物名录》和《国家重点保护野生植物名录》的高等植物、哺乳类、鸟类、爬行类和两栖类的物种数，单位为种。

指示生物类群生命力指数是指研究区内已记录的野生哺乳类、鸟类、两栖类和蝶类等生态环境指示生物类群的物种多样性的变化状况，计算方法见公式(A.24)。

$$Q_t = A_Q \times \frac{10^{-\sum_{i=1}^t P_{it} \ln P_{it}} + \frac{1}{t} \sum_{i=1}^t \lg N_{it}}{10^{\frac{1}{t} \sum_{i=1}^t \lg P_{i0} + \lg N_0}} \quad \dots\dots\dots (A.24)$$

式中：

- A_Q ——指示生物类群生命力指数的归一化系数，参考值为 13.528 8；
 N_{it} ——第 i 个物种第 t 年的个体数量，单位为个；
 N₀ ——初始年特定类群所有物种的个体数量总和，单位为个；
 S ——第 t 年的物种数，单位为种；
 P_{it} ——第 t 年特定物种的个体数量占所研究区域内实际监测到的指示生物个体总数的比例，%；
 P_{i0} ——初始年特定物种的个体数量占所研究区域内实际监测到的指示生物个体总数的比例，%。

原生功能群种占比指数是指研究区内监测样地地带性原生生态系统群落建群种生物量或生物个数占样地生物量或个数的比例情况，计算方法见公式(A.25)。

$$B_{ps} = A_{ps} \times S_{it} / S_{is} \quad \dots\dots\dots (A.25)$$

式中：

- A_{ps} ——原生功能群种占比指数的归一化系数；
 S_{it} ——研究区监测样方内的地带性原生生态系统群落建群种个体数或生物量，单位为个数每平方米(个/m²)或克每平方米(g/m²)；
 S_{is} ——研究区监测样方内的生物总个体数或总生物量，单位为个数每平方米(个/m²)或克每平方米(g/m²)。

A.13 水源涵养功能重要性丧失指数

水源涵养功能重要性丧失指数的计算方法见公式(A.26)、公式(A.27)。

$$WRLI = \frac{WR_j - WR_i}{WR_i} \quad \dots\dots\dots (A.26)$$

$$WR = NPP_{mean} \times F_{sic} \times F_{pre} \times (1 - F_{slo}) \quad \dots\dots\dots (A.27)$$

式中：

- WRLI ——城市水源涵养功能重要性丧失指数；

- WR_i ——土地利用变化前的生态系统水源涵养服务能力指数；
- WR_j ——土地利用变化后的生态系统水源涵养服务能力指数；
- NPP_{mean} ——多年植被净初级生产力平均值，采用最大值最小值法将得到的数据归一化到 0~1 之间；
- F_{sic} ——土壤渗流因子，根据土壤质地类型由粘土到砂土分别在 0~1 之间均等赋值得到，砂土为 1；
- F_{pre} ——多年平均降水量因子，由多年（大于 30 年）平均年降水量数据插值并归一化到 0~1 之间；
- F_{slo} ——坡度因子，采用最大值最小值法将得到的数据归一化到 0~1 之间。

A.14 水土保持功能重要性丧失指数

水土保持功能重要性丧失指数的计算方法见公式(A.28)、公式(A.29)。

$$S_{pro}LI = \frac{S_{pro_j} - S_{pro_i}}{S_{pro_i}} \quad \dots\dots\dots (A.28)$$

$$S_{pro} = NPP_{mean} \times (1 - SEF) \times (1 - F_{slo}) \quad \dots\dots\dots (A.29)$$

式中：

- $S_{pro}LI$ ——城市水土保持功能重要性丧失指数；
- S_{pro_i} ——土地利用变化前的生态系统水土保持服务能力指数；
- S_{pro_j} ——土地利用变化后的生态系统水土保持服务能力指数；
- NPP_{mean} ——多年植被净初级生产力平均值，采用最大值最小值法将得到的数据归一化到 0~1 之间；
- SEF ——土壤可蚀性因子，采用最大值最小值法将得到的数据归一化到 0~1 之间；
- F_{slo} ——坡度因子，采用最大值最小值法将得到的数据归一化到 0~1 之间。

A.15 防风固沙功能重要性丧失指数

防风固沙功能重要性丧失指数的计算方法见公式(A.30)、公式(A.31)。

$$S_{ws}LI = \frac{S_{ws_j} - S_{ws_i}}{S_{ws_i}} \quad \dots\dots\dots (A.30)$$

$$S_{ws} = NPP_{mean} \times SEF \times F_q \times S_r \quad \dots\dots\dots (A.31)$$

式中：

- $S_{ws}LI$ ——城市防风固沙功能重要性丧失指数；
- S_{ws_i} ——土地利用变化前的生态系统防风固沙服务能力指数；
- S_{ws_j} ——土地利用变化后的生态系统防风固沙服务能力指数；
- NPP_{mean} ——多年植被净初级生产力平均值，采用最大值最小值法将得到的数据归一化到 0~1 之间；
- SEF ——土壤可蚀性因子，采用最大值最小值法将得到的数据归一化到 0~1 之间；
- F_q ——多年平均气候侵蚀力，采用最大值最小值法将得到的数据归一化到 0~1 之间；
- S_r ——地表粗糙度因子，采用最大值最小值法将得到的数据归一化到 0~1 之间。

A.16 生物多样性功能重要性丧失指数

生物多样性功能重要性丧失指数的计算方法见公式(A.32)、公式(A.33)。

$$S_{\text{bio}}LI = \frac{S_{\text{bio}_j} - S_{\text{bio}_i}}{S_{\text{bio}_i}} \quad \dots\dots\dots (\text{A.32})$$

$$S_{\text{bio}} = NPP_{\text{mean}} \times F_{\text{pre}} \times F_{\text{tem}} \times (1 - F_{\text{alt}}) \quad \dots\dots\dots (\text{A.33})$$

式中:

$S_{\text{bio}}LI$ ——城市生物多样性功能重要性丧失指数;

S_{bio_i} ——土地利用变化前的生态系统生物多样性服务能力指数;

S_{bio_j} ——土地利用变化后的生态系统生物多样性服务能力指数;

NPP_{mean} ——多年植被净初级生产力平均值,采用最大值最小值法将得到的数据归一化到 0~1 之间;

F_{pre} ——由多年(大于 30 年)平均年降水量数据插值并归一化到 0~1 之间;

F_{tem} ——气温参数,由多年(10 年~30 年)平均年降水量数据插值获得,得到的结果归一化到 0~1 之间;

F_{alt} ——海拔参数,由研究区海拔进行归一化获得。

A.17 水土流失敏感性增强指数

水土流失敏感性增强指数的计算方法见公式(A.34)、公式(A.35)。

$$SSIL = \frac{SS_j - SS_i}{SS_i} \quad \dots\dots\dots (\text{A.34})$$

$$SS = \sqrt[4]{R \times SEF \times LS \times C} \quad \dots\dots\dots (\text{A.35})$$

式中:

$SSIL$ ——水土流失敏感性增强指数;

SS_i ——土地利用变化前的生态系统水土流失敏感性指数;

SS_j ——土地利用变化后的生态系统水土流失敏感性指数;

R ——降雨侵蚀力的敏感性等级值;

SEF ——土壤可蚀性的敏感性等级值;

LS ——地形起伏度的敏感性等级值;

C ——植被覆盖度的敏感性等级值。

A.18 土壤沙化敏感性增强指数

土壤沙化敏感性增强指数的计算方法见公式(A.36)、公式(A.37)。

$$SDSI = \frac{SD_j - SD_i}{SD_i} \quad \dots\dots\dots (\text{A.36})$$

$$SD = \sqrt[4]{I \times W \times K \times C} \quad \dots\dots\dots (\text{A.37})$$

式中:

$SDSI$ ——土壤沙化敏感性增强指数;

SD_i ——土地利用变化前的生态系统土壤沙化敏感性指数;

- SD_j ——土地利用变化后的生态系统土壤沙化敏感性指数；
- I ——干燥度指数的敏感性等级值；
- W ——起沙风天数的敏感性等级值；
- K ——土壤质地的敏感性等级值；
- C ——植被覆盖度的敏感性等级值。

A.19 生境质量干扰强度指数

生境质量干扰强度指数的计算方法见公式(A.38)。

$$HQDI_i = V_i \times E_i \dots\dots\dots (A.38)$$

式中：

- $HQDI_i$ ——网格*i*中的生境质量干扰强度指数；
- V_i ——网格*i*的生境脆弱度指数；
- E_i ——网格*i*的景观格局综合指数。

生境脆弱度指数反映的是景观组分在城市化进程中提供栖息地的水平高低，生境脆弱度指数越高，表征城市生态系统抵御外部干扰的能力越低，计算方法见公式(A.39)、公式(A.40)。

$$V_i = \sum_{j=1}^m V_j \times AREA_{ij} \dots\dots\dots (A.39)$$

$$AREA_{ij} = \frac{\Lambda_{ij}}{\Lambda_i} \dots\dots\dots (A.40)$$

式中：

- V_i ——网格*i*的景观脆弱度指数；
- V_j ——景观类型*j*的脆弱度系数，宜参照每种景观类型的脆弱度等级(见表A.2)进行归一化处理；
- $AREA_{ij}$ ——网格*i*中景观类型*j*的景观面积指数；
- m ——研究区域内不同景观类型的数量，单位为个；
- Λ_{ij} ——网格*i*中景观类型*j*的面积，单位为平方米(m²)；
- Λ_i ——网格*i*的总面积，单位为平方米(m²)。

表 A.2 景观类型的脆弱度等级

景观类型	脆弱度等级
建设用地	1 级
林地	2 级
园地	3 级
草地	4 级
耕地	5 级
水体	6 级
未利用地	7 级
湿地	8 级

景观格局综合指数通过景观破碎度、景观分离度以及优势度指数三个指标构建，景观格局综合指数描述了景观组分的组合形式以及空间分布特征，反映景观破碎化对城市生态系统产生的直接影响。景

观格局综合指数越高,表征城市生态系统受到的外部干扰程度越高,计算方法见公式(A.41)~公式(A.47)。

$$E_i = x \times Cn_i + y \times Sn_i + z \times Dn_i \dots\dots\dots (A.41)$$

$$C_i = \sum_{j=1}^n C_{ij} \dots\dots\dots (A.42)$$

$$C_{ij} = \frac{N_{ij}}{A_{ij}} \dots\dots\dots (A.43)$$

$$S_i = \sum_{j=1}^n S_{ij} \dots\dots\dots (A.44)$$

$$S_{ij} = \frac{DIS_{ij}}{AREA_{ij}} \dots\dots\dots (A.45)$$

$$DIS_{ij} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{N_{ij}}{A_i}} \dots\dots\dots (A.46)$$

$$D_i = \ln m + \sum_{j=1}^n (AREA_{ij}) \ln (AREA_{ij}) \dots\dots\dots (A.47)$$

式中:

- Cn_i —— 网格*i*景观破碎度归一化指数,按网格*i*的景观破碎度指数 C_i 在所有网格景观破碎度指数中的排位与总网格数量的商计算;
- Sn_i —— 网格*i*景观分离度归一化指数,按网格*i*的景观分离度指数 S_i 在所有网格景观分离度指数中的排位与总网格数量的商计算;
- Dn_i —— 网格*i*景观优势度指数归一化指数,按网格*i*的景观优势度指数 D_i 在所有网格景观优势度指数中的排位与总网格数量的商计算;
- C_i —— 网格*i*的景观破碎度;
- S_i —— 网格*i*的景观分离度;
- D_i —— 网格*i*的景观优势度指数;
- C_{ij} —— 网格*i*中景观类型*j*的景观破碎度;
- S_{ij} —— 网格*i*中景观类型*j*的景观分离度;
- x —— 景观破碎度的权重值,赋值为0.5;
- y —— 景观分离度的权重值,赋值为0.3;
- z —— 景观优势度的权重值,赋值为0.2;
- DIS_{ij} —— 网格之中景观类型*j*的景观距离指数;
- N_{ij} —— 网格样本*i*中景观类型*j*的斑块数;
- $AREA_{ij}$ —— 网格*i*中景观类型*j*的景观面积指数。

A.20 重要生态空间连通度指数

重要生态空间连通度指数的计算方法见公式(A.48)、公式(A.49)。

$$PC = A_{PC} \times \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_i \times a_j \times P_{ij}}{LA^2} \dots\dots\dots (A.48)$$

$$P_{ij} = e^{-k \times d_{ij}} \dots\dots\dots (A.49)$$

式中:

- PC —— 重要生态空间连通度指数;重要生态空间指将林地、草地、水域和沼泽地进行合并后,面积大于0.1 km²的斑块;

- A_{PC} ——重要生态空间连通度指数的归一化系数,参考值为 103.70;
- n ——重要生态空间斑块的总数量,单位为个;
- a_i ——斑块 i 的面积,单位为平方千米(km^2);
- a_j ——斑块 j 的面积,单位为平方千米(km^2);
- LA ——区域国土面积,单位为平方千米(km^2);
- P_{ij}^* ——斑块 i 和斑块 j 之间所有路径最终连通性的最大值,即斑块 i 和 j 之间所有可能路径 P_{ij} 的最大乘积概率;
- P_{ij} ——斑块 i 与 j 之间的直接扩散概率;
- d_{ij} ——斑块 i 与 j 之间的最低成本距离,在此指最短距离,单位为千米(km);
- k ——常数项,通过物种平均扩散距离和设置的概率值确定,推荐平均距离为 5 km,概率设置为 0.5。

A.21 海(水)域开发强度指数

海(水)域开发强度指数的计算方法见公式(A.50)。

$$SDI = A_{SDI} \times \frac{S_{LR} + S_L + S_{LS}}{S_{sea}} \dots\dots\dots (A.50)$$

式中:

- SDI ——海(水)域开发强度指数;
- A_{SDI} ——海(水)域开发强度指数的归一化系数,参考值为 100;
- S_{LR} ——填海(湖)造地面积,含建设填海(湖)造地和农业填海(湖)造地面积,单位为平方千米(km^2);
- S_L ——围海(湖)面积,含围海(湖)养殖、盐业和港池等面积,单位为平方千米(km^2);
- S_{LS} ——构筑物用海(湖)面积,含非透水构筑物和透水构筑物面积,单位为平方千米(km^2);
- S_{sea} ——管辖海(湖)域,指研究区域海(湖)岸线(海/湖岸线依据省级人民政府批复数据)向海洋(湖)方向延伸 2 km 的面积,单位为平方千米(km^2)。

参 考 文 献

- [1] GB 8978 污水综合排放标准
 - [2] GB 16297 大气污染物综合排放标准
 - [3] GB 18484 危险废物焚烧污染控制标准
 - [4] GB 18598 危险废物填埋污染控制标准
 - [5] GB 37822 挥发性有机物无组织排放控制标准
 - [6] SL/Z 467—2009 生态风险评估导则
 - [7] 生态保护红线划定指南(环办生态〔2017〕48号)
 - [8] 区域生态质量评价办法(试行)(环监测〔2021〕99号)
 - [9] 任景明.区域开发生态风险评估理论与方法研究[M]. 北京:中国环境出版社,2013.
 - [10] 国家重点保护野生动物名录(国家林业和草原局 农业农村部公告 2021 年第 3 号)
 - [11] 国家重点保护野生植物名录(国家林业和草原局 农业农村部公告 2021 年第 15 号)
 - [12] Suter G.Ecological risk assessment[M],2nd edition. Boca Raton: CRC Press,2006.
 - [13] Tang LN,Wang L,Li QY,Zhao JZ.A framework designation for the assessment of urban ecological risks[J].International Journal of Sustainable Development & World Ecology,2018,25(5): 387-395.
-

www.bzxz.net

免费标准下载网