



中华人民共和国国家标准

GB/T XXXXX—XXXX

城市生态系统监测技术指南

Technical guidelines for urban ecosystem monitoring

点击此处添加与国际标准一致性程度的标识

征求意见稿

(本稿完成日期：2023 年 1 月)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 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	2
4 监测目标与内容	3
5 监测指标体系	3
5.1 指标选择原则	3
5.2 指标体系	4
6 监测技术方法	5
6.1 城市生态系统格局	5
6.2 城市生态系统要素	6
6.3 城市生态系统过程	15
7 质量控制	20
7.1 设备维护	20
7.2 技术人员培训	20
7.3 监测数据质控	20
参考文献	23

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：中国科学院生态环境研究中心、中国标准化研究院等。

本文件主要起草人：

城市生态系统监测技术指南

1 范围

本文件提供了城市生态系统监测的目标与内容、指标体系、技术方法、质量控制等的指导和建议。

本文件适用于城市生态系统监测、评价、规划和管理相关工作。

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 33027 森林生态系统长期定位观测方法

GB/T 33703 自动气象站观测规范

GB/T 35237 地面气象观测规范 自动观测

GB 50179 河流流量测验规范

HJ/T 52 水质 河流采样技术指导

HJ 84 水质无机阴离（F⁻、Cl⁻、NO₂⁻、Br⁻、NO₃⁻、PO₄³⁻、SO₃²⁻、SO₄²⁻）的测定 离子色谱法

HJ/T 91 地表水和污水监测技术规范

HJ/T 96 pH 水质自动分析仪技术要求

HJ/T 97 电导率 水质自动分析仪技术要求

HJ/T 98 浊度 水质自动分析仪技术要求

HJ/T 99 溶解氧 水质自动分析仪技术要求

HJ/T 100 高锰酸盐指数 水质自动分析仪技术要求

HJ/T 101 氨氮 水质自动分析仪技术要求

HJ/T 102 总氮 水质自动分析仪技术要求

HJ/T 103 总磷 水质自动分析仪技术要求

HJ/T 104 总有机碳 水质自动分析仪技术要求

HJ/T 164 地下水环境监测技术规范
HJ/T 166 土壤环境监测技术规范
HJ/T 193 环境空气质量自动监测技术规范
HJ/T 354 水污染源在线监测系统（COD、氨氮）验收技术规范
HJ/T 355 水污染源在线监测系统运行与考核技术规范
HJ/T 356 水污染源在线监测系统数据有效性判别技术规范
HJ 655 环境空气颗粒物（PM10 和 PM2.5）连续自动监测系统安装和验收技术规范
HJ 664 环境空气质量监测点位布设技术规范（试行）
HJ 710.4 生物多样性观测技术导则 鸟类
HJ 710.7 生物多样性观测技术导则 内陆水域鱼类
HJ 710.8 生物多样性观测技术导则 淡水底栖大型无脊椎动物
HJ 710.9 生物多样性观测技术导则 蝴蝶
HJ 812 水质可溶性阳离子（Li⁺、Na⁺、NH₄⁺、K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺）的测定 离子色谱法
HJ 915 地表水自动监测技术规范
SL 24 堰槽测流规范
SL 219 水环境监测规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

城市生态系统 urban ecosystem

城市区域各类生物（包括人）与环境构成的功能单元，是以人类活动为主导的社会-经济-自然复合生态系统。

3.2

城市生态系统格局 urban ecosystem pattern

城市绿地、水体、人工构筑物等的空间配置。

3.3

城市生态系统要素 urban ecosystem elements

构成城市生态系统的动物、植物、微生物等生物组分，土壤、水体、空气等非生物组分，以及社会经济组分。

3.4

城市生态系统过程 urban ecosystem process

物质、能量和信息在城市生态系统组分间的流动，是社会经济活动与自然过程共同作用的结果。

4 监测目标与内容

综合运用遥感技术、地面监测、定位监测、数据集成等技术，获取城市生态系统要素、格局、过程等相关数据，为城市生态评价、城市规划与管理以及居民社会活动提供信息和科学依据。具体任务包括：

a) 城市生态系统格局监测：监测城市绿地、水体、不透水地表等土地覆盖，以及公园、社区、工厂、商业区、学校、道路等土地利用类型的分布；

b) 城市生态系统要素监测：监测城市气象、空气环境、热环境、水体环境、土壤环境、生物、社会经济活动；

c) 城市生态系统过程监测：监测生物质生产、水资源利用与水循环、能源消费、生活消费与污染物排放。

5 监测指标体系

5.1 指标选择原则

5.1.1 系统性原则

监测指标体系的构建宜能够反映城市生态系统整体特征及其变化。

5.1.2 代表性原则

监测指标可代表城市生态系统要素、格局、过程的主要特征。

5.1.3 敏感性原则

指标对自然环境与人类活动变化响应敏感，能反映城市生态系统的变化过程。

5.1.4 可行性原则

监测指标的数据与信息获取的技术手段比较成熟。

5.2 指标体系

城市生态系统监测指标体系包括生态系统格局监测指标、生态系统要素监测指标和生态系统过程监测指标三部分，城市生态系统监测指标具体见表1。

表 1 城市生态系统监测指标

监测内容	监测对象		监测指标	
城市生态系统格局	不透水地表		面积、分布	
	绿地		面积、分布	
	水体		面积、分布	
城市生态系统要素	城市生物	城市植物	群落组成（种类、株数、盖度）；植物生长（胸径、高度、冠幅和叶面积指数）；物候期	
		城市鸟类	种类、数量	
		城市小型动物	种类、数量	
		城市昆虫	种类、数量	
	城市土壤	土壤理化性质	（1）土壤物理指标：机械组成、容重、磁化率。 （2）土壤化学指标：pH、有机质、总氮、总磷、总钾、硝态氮、铵态氮、速效磷、速效钾，阳离子交换量、交换钙、碳酸钙、盐分、镁、钾、钠。 （3）重金属污染物包括 Cu、Zn、Pb、Cr、Cd、As、Hg 等重金属含量。 （4）有机污染物包括农药和 PAHs 等有机污染物质。 （5）土壤温湿盐：土壤温度、土壤湿度、土壤盐分。	
		城市土壤动物	种类、数量	
		城市土壤微生物	种类、浓度	
	城市空气	天气现象	总云量、云状、霜、露、雪淞、雾淞、结冰、积雪、轻雾、雾、霾浮尘、扬沙、沙尘暴	
		气象	空气温度、空气湿度、降雨量、总辐射、光合有效辐射、气压、风速、风向、蒸发量	
		空气质量	SO ₂ 、NO、NO ₂ 、O ₃ 、PM ₁₀ 、PM _{2.5} ；VOC；PAHs	
		干沉降	沉降量；C、N、P、K、Na、Ca、Mg、Si	
		湿沉降	沉降量；pH；EC；COD、TOC、TIC、TC、TN、TP、K ⁺ 、Na ⁺ 、Ca ²⁺ 、Mg ²⁺ 、NH ₄ ⁺ 、F ⁻ 、Cl ⁻ 、NO ₂ ⁻ 、NO ₃ ⁻ 、SO ₄ ²⁻	
		空气微生物	细菌、真菌的种类、浓度	
		气传花粉	花粉的种类、浓度	
	城市水体	地表水	城市水文	水位、流速等
			城市水环境	pH、电导率、浊度、溶解氧、高锰酸盐指数、氨氮、COD、BOD、TOC、TIC、TC、TN、TP、K ⁺ 、Na ⁺ 、Ca ²⁺ 、Mg ²⁺ 、NH ₄ ⁺ 、F ⁻ 、Cl ⁻ 、NO ₂ ⁻ 、NO ₃ ⁻ 、SO ₄ ²⁻ 、叶绿素、大

监测内容	监测对象		监测指标
			肠杆菌, 重金属 (Pb、Cr、Cd、Cu、Ni、Zn、As、Hg 等), POPs 等
		城市水生生物	种类、数量
		水文	水位
	地下水	水质	pH、电导率、COD、TOC、TIC、TC、TN、TP、K ⁺ 、Na ⁺ 、Ca ²⁺ 、Mg ²⁺ 、NH ₄ ⁺ 、F ⁻ 、Cl ⁻ 、NO ₂ ⁻ 、NO ₃ ⁻ 、SO ₄ ²⁻ 等。
		社会经济	人口
		生活水平	家庭收入、生活支出
		经济发展	GDP、产业结构
城市生态系统过程	生物质生产	城市植物	生物量、生产力
	水资源利用与水循环	水资源利用	入境水量、出境水量、地下水取水量; 工业用水、生活用水、生态用水;
		水循环	城市暴雨径流、蒸散发
	能源消费		家庭煤炭、石油、天然气、电力、太阳能、地热
	生活消费	城市居民食物	种类、消费量
		城市居民日用品	种类、消费量
	污染物排放		废水、废气、垃圾排放

6 监测技术方法

6.1 城市生态系统格局

6.1.1 格局分类

6.1.1.1 城市土地覆盖

城市土地覆盖按照土地物理性质划分为: 不透水地表、绿地面、水体等。不透水表面分为屋顶、道路、广场等, 绿地分为林地、灌丛和草坪, 水体分为河流和湖泊等。主要依靠高分辨率遥感资料分析和地面 GPS 定位监测, 确定各种城市覆盖类型。土地覆盖的遥感资料分析, 采用目视判读或遥感资料解译的监督和非监督分类方法, 结合地面验证, 编制城市土地覆盖分布图。

6.1.1.2 城市土地利用

城市土地利用按照功能性质分成: 居住区、公园、学校、商业区、工业区等。

6.1.2 监测方法

6.1.2.1 城市土地覆盖监测方法

城市生态系统的土地覆盖监测使用高分辨遥感数据（空间分辨率<10m），如SPOT、IKONOS、QUICKBIRD、ORBVIEW、GeoEye-1、RapidEye以及我国高分遥感卫星资料等。对于高分遥感数据解译，采用目视解译方法和面向对象分类方法。面向对象分类方法处理的基本单元是“影像对象”。通过影像分割，逐级提取土地覆被信息。

6.1.2.2 城市土地利用监测方法

城市生态系统的土地利用监测使用高分辨遥感数据（空间分辨率<10m），如SPOT、IKONOS、QUICKBIRD、ORBVIEW、GeoEye-1、RapidEye以及我国高分遥感卫星资料等。对于高分遥感数据解译，采用目视解译方法和面向对象分类方法。面向对象分类方法处理的基本单元是“影像对象”。通过影像分割，逐级提取土地利用信息。

6.1.3 监测频率

城市生态系统格局每5年监测一次。

6.2 城市生态系统要素

6.2.1 城市省市生物

6.2.1.1 城市植物

6.2.1.1.1 监测地点

采用网格化分级抽样方法将整个城市划分成网格，在每个网格内选择城市公园或社区作为监测单元，在选定的公园与社区监测单元内，选择绿地或水体监测单元。公园与社区监测单元的选择，需要考虑其建立历史、性质、规模、地理位置和管理强度间的平衡。

绿地与湿地监测场的选择：

- a) 优先考虑最大的绿地或水体斑块；
- b) 尽量包括公园与社区监测场内部的主要斑块类型；
- c) 根据空间变异、复杂程度、监测对象与内容确定每个公园与社区监测场内的绿地与湿地监测场数量。物候监测地点应选择有连续气象、水文、生物和土壤要素的监测地点。

6.2.1.1.2 具体指标

城市植物监测指标包括群落、生长和物候。

- a) 城市植物群落监测指标包括种类、株数和盖度。
- b) 城市植物生长监测指标包括胸径、高度、冠幅和叶面积指数。

c) 城市植物物候监测指标：乔木和灌木包括芽开放期、开始展叶期、开花始期、开花盛期、开花末期、果实或种子成熟期、叶秋季全部变色期、落叶末期；草本植物包括开花始期、开花盛期、开花末期。

6.2.1.1.3 监测方法

城市植物群落和生长采用样方法开展监测。将监测区域划分为 $2\text{km} \times 2\text{km}$ 的网格，在每个网格中随机选取 1-3 个样方（面积 400m^2 或 $20\text{m} \times 20\text{m}$ ），监测样方内所有乔木和灌木，测量记录种类、株数、胸径、高度和冠幅。采用叶面积仪对特定植物物种进行叶面积指数监测。在每个 400m^2 样方内随机选取 3-5 个 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 的小样方，记录草本植物种类、盖度。

城市植物物候利用高分辨率数字相机进行连续监测。通过对单株植物的高频自动拍照和人工目测图像解译，提取和确定植物生长发育阶段等方面的信息，以获取植物的物候变化。城市植物物候的监测树种：

- a) 尽可能包含各个城市常见园林植物种类，以反映整个城市的植物物候现象；
- b) 选择在尽量多的监测样地内均有出现的物种进行物候监测，方便城市-郊区间，城市-城市间物候现象比较分析；
- c) 宜选择物候现象容易监测且各物候阶段容易区别的物种。

6.2.1.2 城市鸟类

6.2.1.2.1 监测地点

根据不同的土地利用类型、植被类型、海拔高度以及地形地貌等因素划分不同的生境类型。根据每种生境类型面积大小和结构复杂度在相应斑块内随机或机械选取若干监测点，不同监测点之间的直线距离应不小于 200m 。对样带、样点或样方的具体位置、范围作永久标记，并按比例绘制能够反映植被、生境以及鸟巢分布位置等的草图。记录其他说明信息，如周边土地利用类型，河流水库以及人类干扰等。

6.2.1.2.2 具体指标

城市鸟类的监测指标包括种类和数量。

6.2.1.2.3 监测方法

在一年中的鸟类活动高峰期内（主要是候鸟迁徙期）选择数月进行观察，每个样地每月监测1-2次，观察时段选在鸟类活动高峰期（早晨6:00-9:00，傍晚4:00-7:00）。常用的方法有样带法、样点法、样线-样点法、样方法。

a) 样带法

根据主监测场的面积大小以及绿地或其他生境的代表性，确定样带长度和宽度进行鸟类种类和数量的观察统计。一般统计限定路线左右两侧25m/50m/100 m距离内观察和听到的鸟类物种和数量，必要时可用长焦镜头拍摄关键场景和过程以便后续校对。

监测者的行进速度一般为1-2km/h，行进过程不可间断，不得已中断要扣除相应时间；统计鸟类数量时要避免重复统计，监测过程中留意统计过的鸟类的动向，对于由后往前飞的鸟类不予统计。一般以高于树顶飞过和在高空盘旋的鸟类也不予记录（或者予以单独记录）。样带的宽度可以通过一定的观察经验作视觉估计，也可以借助罗盘做更准确的判断。

b) 样点法

在鸟类活动高峰期对鸟类物种和数量进行逐点统计，一般一个点的单次统计时间为5-10min，统计开始之前还可以设置1min的准备时间以让鸟类安定下来。对于城郊山区绿地，可以以随机点为中心划出一定大小的样方（比如250m×250m），在样方内用样带法或分层随机样点法取样统计。观察手段与样带法相同。

c) 样线-样点法

该法先选定一条或数条统计路线，在选定路线上每隔一段距离（比如200m）选取一个监测点，监测点之间的路线上不做统计。鸟类统计方法与样点法相同。

d) 样方法

适合于监测繁殖季节的鸟类种群或群落。在观察区域内，每隔垂直带设置3-5个一定面积大小（50/100 m²）的样方，用木桩或其他标记物做标记。之后对样方内的鸟或鸟巢做全统计，并进行定期观察以记录鸟类繁殖过程中的各种参数。

6.2.1.3 城市小型动物

6.2.1.3.1 监测地点

可采用分层抽样法或系统抽样法设置监测样点。分层抽样法中，监测样点应涵盖监测样地内不同的生境类型。系统抽样法中，在监测样地内划定网格设置监测样点，网格大小为1km×1km。每1km²至少设置1个监测样点。

6.2.1.3.2 具体指标

城市小型动物的监测指标包括动物种类和数量。

6.2.1.3.3 监测方法

采用红外相机自动拍摄法，记录小型野生动物的分布和活动节律。

a) 安置红外相机前，应充分掌握拟监测野生动物的基本习性、活动区域和日常活动路线。尽量将相机安置在目标动物经常出没的通道上或其活动痕迹密集处。水源附近往往是动物活动频繁的区域，应优先考虑。

b) 在每个样点于树干、树桩或岩石上装设 1 或 2 台红外感应自动相机。相机架设位置一般距离地面 0.3-1.0m，架设方向尽量不朝东方太阳直射处。相机镜头与地面大致平行，略向下倾，一般与动物活动路径呈锐角夹角，并清理相机前的空间，减少对照片成像质量的干扰。对相机编号，并用 GPS 定位记录位置。

c) 每个样点应该至少收集 1000 个相机工作小时的数据。在夏季每个样点需至少连续工作 30 天，以完成一个监测周期。

d) 定期巡视样点，更换电池、调试设备、下载数据。记录各样点拍摄起止日期、照片和视频拍摄时间、动物物种与数量及其他特征，建立信息库，归档保存。

6.2.1.4 城市昆虫

6.2.1.4.1 监测地点

在城市生态系统中不同功能区或不同城乡梯度，采用分层随机抽样法或系统抽样法抽取监测样地，每个样地根据绿地面积和生境类型设置样方，或确定样线若干。

6.2.1.4.2 具体指标

城市昆虫的监测指标包括种类和数量。

6.2.1.4.3 监测方法

针对不同的昆虫生态功能群的生物学习性，采用不同的监测方法。主要关注的城市昆虫类群包括蝴蝶、蜂类和地表甲虫。

a) 蝴蝶

在所选样地内，沿公路、小径、步道设置若干条样线。样线应覆盖样地内所有生境类型。监测时沿样线缓慢匀速前行，速度 1-1.5km/h，记录样线左右 2.5m、上方 5m、前方 5m 范围

内见到的所有蝴蝶的种类和数量，样线法监测范围示意图 1。不重复计数同一只个体和身后的蝴蝶。在水边，可沿样线记录一侧宽度为 5m 范围内的数据，监测范围之外见到的种类，可写入备注栏中。若蝴蝶数量过大，可登记估计值或使用相机拍摄后计数。对于不能确定的种类，网捕后进行鉴定，种类确定后原地释放；当场不能确定的种类，少量网捕，带回实验室鉴定、统计记录。监测时以 2 人为一组，1 人监测，另 1 人记录和网捕。

一般在每年 4-9 月（蝴蝶成虫发生期），每周监测 1 次，或每月监测 1-2 次，每次间隔 15 天以上；或者在每年 6-8 月成虫高峰期监测 2 次，每次间隔 20 天以上。监测应在晴朗（13℃ 以上）或多云（17℃ 以上）、温暖、风速小于 40km/h 时进行，每天的监测时间一般为 9:00-17:00，但应避开夏季极热天气。

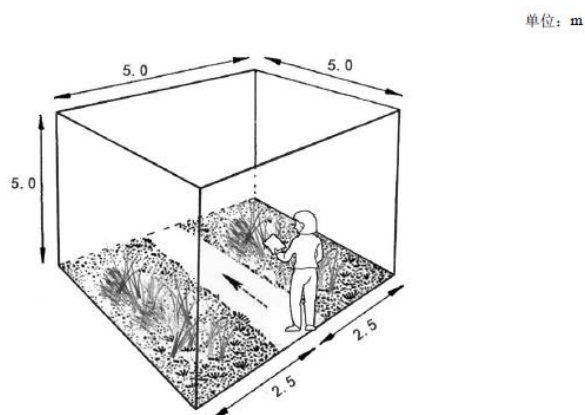


图 1 样线法监测范围示意图

b) 蜂类

主要通过黄盘诱集法、马来氏网法和网捕法进行采集监测。

1) 黄盘诱集法 (Yellow pan trapping): 对于生活在草地和树林边缘的种类采集非常实用。一片区域一次最好使用 50 个以上的黄盘来对样本进行有效的监测。黄盘多采用黄色塑料盘，盘内装入 1/2-2/3 容积的清水。一般 2-3d 收集一次。收集时，先将盘内的杂物（如树叶等）拣出，再用细尼龙纱网反复过滤，用清水冲洗标本，再将盘中所有昆虫标本装入盛有酒精的广口塑料瓶中，带回实验室镜下挑拣。

2) 马来氏网法 (Malaise trapping): 利用昆虫触网后沿边缘向上活动的习性，在马氏网顶角安装收集瓶，可以收集到空中飞行昆虫标本。将马氏网悬挂在林地内树木之间（间距约 2 米），马氏网顶部距离地面约 2 米，底部用木桩或石块固定，顶端尖部能与收集瓶进口相通。在收集瓶中放入 1/3 瓶无水乙醇，用于杀死和保存昆虫标本，3-7 天后回收瓶中标本，带回室内分类鉴定。

3) 网捕法 (Sweeping): 在短时间内采集大量标本的一种非常好的方法，尤其适用于草

地。在天气晴朗的白天，使用加固的捕虫网在灌木丛上方和草地基部来回有规律地扫动，待网内杂物较多时，将网底部置于阳光下，用手掏出较大的枝叶（注意查看网内是否有胡蜂、马蜂或蜜蜂等毒虫，必要时戴上橡胶手套）。将剩余网扫物装入无水乙醇中，密封妥善保存。待回到实验室，在解剖镜下仔细挑选标本。一般在每年 4-9 月，每周监测 1 次，或每月监测 1-2 次，每次间隔 15 天以上；或者在每年 6-8 月成虫高峰期监测 2 次，每次间隔 20 天以上。

c) 地表昆虫

采用陷阱法（又称巴氏罐诱法，*pitfall trapping*）监测不同生境中的地表昆虫。取样方的 4 角和中心点埋设陷阱杯。陷阱高约 15 cm，口径约 10 cm，随机排列。陷阱间距 3 m 以上。陷阱内放置大小相套的两个塑料杯，大杯（容积 400 ml）在外，杯口与地面持平；小杯（容积 300ml）在内，杯口低于大杯杯口约 1 cm，紧贴于大杯杯壁。每个小杯内盛 100 ml 左右的 50%丙二醇溶液，用于杀死和保存昆虫标本。3-7 天后取出小杯回收标本一次，并盖上外杯盖，以防止小动物不慎掉入陷阱，或杂物填满陷阱，方便下一次监测。将标本保存于 75%酒精溶液中，带回室内分类鉴定。一般在每年 4-9 月，每月监测 1-2 次，每次间隔 15 天以上；或者在每年 6-8 月成虫高峰期监测 2 次，每次间隔 20 天以上。监测应避开雨季高峰期。

6.2.1.5 城市土壤

6.2.1.5.1 监测方法

城市土壤样品的采集一般采用规则网格-系统布点法进行采样设计。在一般的城市土壤监测中，按 1km²大小为一个网格采样单元，在每个网格中划分为 4 个小矩形，在 4 个小矩形中距中心 100m 半径处和网格中心一共 5 个子样组合成一个大样。取 5 个子样的等分土壤混合均匀合并成一个样品。任何一个混合样品中的污染物浓度假如出现异常情况，对 5 个子样进行单独的污染物浓度分析，以确保所检测到的数据在 100m²范围内是普遍情况。也可根据城市土壤的主要分布区域和利用状况，采集城市的不同功能区如交通区、工业区、居民区、郊区耕地、公园土壤等的土壤样品进行分析研究。

结合植物样地设置，采用网格化随机布点法，将城市建成区划分为 2×2km 的网格，在每个网格中随机选取城市功能单位如交通区、工业区、居民区、郊区耕地、公园等，在每个城市功能单位内，选取优势典型植被类型，作为城市长期监测样地。长期采样地内的土壤性状均一时采用随机采样方式。当土壤性状有显著变异或地形地貌不同时，采用分区随机采样，在前期调查和资料分析的基础上确定不同的分区界限，使得不同分区间有明显差异，但分区

内的土壤、地形条件较为一致。每个分区随机采集10-20钻表层土壤样品，混合后四分法取样。

6.2.1.5.2 具体指标

城市土壤的监测指标包括土壤物理、化学、温湿盐。

a) 土壤物理指标：机械组成、容重、磁化率。

b) 土壤化学指标：pH、有机质、总氮、总磷、总钾、硝态氮、铵态氮、速效磷、速效钾，阳离子交换量、交换钙、碳酸钙、盐分、镁、钾、钠。重金属污染物包括Cu、Zn、Pb、Cr、Cd、As、Hg等重金属含量。有机污染物包括农药和PAHs等有机污染物质。

c) 土壤温湿盐：土壤温度、土壤湿度、土壤盐分。

6.2.1.5.3 监测方法

针对不同的监测指标，采用不同的监测方法。

a) 土壤物理指标：人工采样分析。用土钻采集土壤样品。

b) 土壤化学指标：人工采样分析。用土钻采集土壤样品。

c) 土壤温湿盐：原位自动监测。用土壤温湿盐传感器、数据采集器，太阳能或市电供电模块，结合数据采集程序和软件，原位连续自动监测土壤温度、湿度、盐分。

6.2.2 城市空气

6.2.2.1 监测布局方法

城市空气环境监测一般采用网络化监测方法，参考城市的不同功能区如道路、公园、商业区、机关事业单位、学校、居民区、郊区等，考虑季节主风向，在城市不同发展水平区域，建立多个监测点，形成监测网络。布局办法参考HJ 664。

6.2.2.2 具体指标

6.2.2.2.1 天气现象

天气现场主要监测总云量、云状、霜、露、雪淞、雾淞、结冰、积雪、轻雾、雾、霾、浮尘、扬沙、沙尘暴等。

6.2.2.2.2 气象

气象因素包括空气温度、空气湿度、降雨量、总辐射、光合有效辐射、气压、风速、风向、蒸发量等。

6.2.2.2.3 空气质量

空气质量监测指标主要包括SO₂、NO、NO₂、O₃、PM₁₀、PM_{2.5}；VOCs；PAHs等。

6.2.2.2.4 干沉降

干沉降监测指标主要包括沉降量；C、N、P、K、Na、Ca、Mg、Si等。

6.2.2.2.5 湿沉降

湿沉降监测指标主要包括沉降量；pH；EC；COD、TOC、TIC、TC、TN、TP、K⁺、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、NH₄⁺、F⁻、Cl⁻、NO₂⁻、NO₃⁻、SO₄²⁻等。

6.2.2.2.6 气传花粉

主要监测空气中花粉种类、浓度。

6.2.2.2.7 空气微生物

主要监测城市空气微生物的监测指标包括细菌、真菌的种类和浓度。

6.2.2.3 监测方法

6.2.2.3.1 天气现象

参照GB/T 35223、GB/T 35224和GB/T 35225相关要求。

6.2.2.3.2 气象

采用自动监测方法，参照GB/T 35237相关要求。

6.2.2.3.3 空气质量

参照HJ/T 193相关规定执行，主要技术方法参照HJ 664、HJ 193、HJ 655。

6.2.2.3.4 干沉降/湿沉降

人工收集结合自动收集，主要技术方法参照GB/T 33027相关规定。

6.2.2.3.5 气传花粉

采用花粉孢子收集装备，收集植物气传花粉颗粒，并通过光学显微镜进行计数及鉴定。

6.2.2.3.6 空气微生物

采用空气生物采样器进行空气微生物取样，结合PCR技术和高通量基因测序，鉴定分析空气微生物。

6.2.3 城市水体

6.2.3.1 监测地点

地表水监测地点的设置参照 HJ/T 91、HJ 915、SL219 相关规定。

6.2.3.2 具体指标

6.2.3.2.1 地表水监测指标

地表水主要监测水位、流速等水文特征，pH、COD、BOD、TOC、TIC、TC、TN、TP、 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 NH_4^+ 、 F^- 、 Cl^- 、 NO_2^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、叶绿素、大肠杆菌，重金属（Pb、Cr、Cd、Cu、Ni、Zn、As、Hg 等），POPs 等水质指标，以及水生生物的种类和数量等。

6.2.3.2.2 地下水监测指标

地下水主要监测水位和 pH、COD、TOC、TIC、TC、TN、TP、 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 NH_4^+ 、 F^- 、 Cl^- 、 NO_2^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 等水质指标。

6.2.3.3 监测方法

6.2.3.3.1 城市水文

流速仪法和浮标法是实地测流的常用方式。流速仪法通过实测断面上的流速和水道断面面积来确定流量的方法，按照 GB 50179 相关规定。浮标法测流通过测定水中的天然或人工漂浮物随水流运动的速度，结合断面资料及浮标系数来推求流量的方法。小型河道主要通过固定堰槽结合水位监测的方法测量地表径流量，按照 SL24 相关规定。

6.2.3.3.2 城市水环境

城市地表水原则上逢雨必采，采集每城市河道或湖泊等的全过程样品，同时测定 pH、城市地表径流量两个项目。

参照标准 HJ/T 175 测定城市地表水中的物理指标（城市河道或湖泊等量等）和化学指标（pH、电导率等）。监测项目有 pH、电导率、浊度、溶解氧、高锰酸盐指数、氨氮、总氮、总磷、总有机碳、化学需氧量、温度和流量等，分别按照 HJ/T 96、HJ/T 97、HJ/T 98、HJ/T 99、HJ/T 100、HJ/T 101、HJ/T 102、HJ/T 103、HJ/T 104、HJ/T 354、HJ/T 355 和 HJ/T 356 相关规定。 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等的测定按照 HJ 812 相关规定。 F^- 、 Cl^- 、 NO_2^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 按照 HJ 84 相关规定。

地下水相关监测指标参照地表水相应指标的监测方法。

6.2.3.3.3 城市水生生物

城市水生生物按照不同检测目标，采用不同的检测方法。

a) 浮游生物群落监测采用镜检法，定量样品采集使用有机玻璃采水器，定性样品采集使用浮游生物网。

b) 着生生物群落监测采用镜检法，样品采集采用人工基质或天然基质采样法。

c) 底栖动物监测采用镜检法，定性采样使用三角拖网，定量采样使用彼得逊采泥器，或人工基质篮式采样器。

d) 鱼类群落监测采用定制拉网法与访问相结合的监测方法。

e) 叶绿素 a 的监测采用分光光度法。样品采集使用有机玻璃采水器。

f) 总大肠菌群监测采用多管发酵法，样品采集使用无菌采样瓶。

6.2.4 社会经济调查

6.2.4.1 具体指标

人口主要调查人口数量及其结构；生活水平主要调查家庭收入和生活支出；经济发展主要调查 GDP 和产业结构等。

6.2.4.2 调查方法

社会经济调查主要采用直接调查和间接资料获取等方式获取数据。家庭收入、生活支出常采用直接调查方法，由调查者采用设计问卷、观察、访问等方式对社会经济数据进行搜集、整理和分析；人口和经济发展指标通常采用间接资料法，如参考经济公报、经济年鉴、统计年鉴等。

6.3 城市生态系统过程

6.3.1 生物质生产

6.3.1.1 植物群落生物量

6.3.1.1.1 调查地点

在城市生态系统中不同功能区或不同城乡梯度，采用分层随机抽样法或系统抽样法抽取监测样地。

6.3.1.1.2 具体指标

植物群落生物量是指单位群落面积上所有植物体的总重量，单位是 t/hm^2 或 kg/m^2 。

6.3.1.1.3 监测方法

由于城市植物的特殊性，难以采用收获法进行生物量测定。可以利用市政建设时需要砍伐树木的机会，收集树木样品，构建生物量模型。也可以借助激光雷达技术，测定林木的主干和枝条的体积，再根据树干和枝条的比重，得到树干和树枝的生物量。树叶生物量可以采用叶面积仪测定。

6.3.1.2 植物群落生产力

6.3.1.2.1 监测地点

在城市生态系统中不同功能区或不同城乡梯度，采用分层随机抽样法或系统抽样法抽取监测样地。

6.3.1.2.2 具体指标

植物群落生产力，即生态系统的初级生产力，是指单位时间单位群落面积上生命有机体转化直接来自太阳辐射的能量。生产力的度量单位是 $t/(hm^2 \cdot a)$ 或 $g/(m^2 \cdot d)$ 。单位时间单位群落面积上群落光合作用所同化的总量为总初级生产力（GPP）

6.3.1.2.3 监测方法

植物群落生产力的测定可用多次收获法和红外 CO_2 分析法。

6.3.2 水资源利用与水循环

6.3.2.1 水资源利用

水资源利用取水量和用水量两部分，取水量主要收集入境水量、出境水量、地下水取水量等数据，数据主要来源于水务部门；用水量主要包括工业用水、生活用水、生态用水等，数据主要来源于由水务部门。

6.3.2.2 水循环

6.3.2.2.1 暴雨径流

城市暴雨径流主要包括屋面径流、道路径流和绿地径流。

- a) 屋面径流的收集方法：在楼顶雨水管道出水口处放置收集箱，等比例全过程收集楼顶流出的雨水。
- b) 路面径流的收集方法：在路面上的雨水下水井内装有容器，当路面产生径流时，等比例全过程收集流入下水井的雨水。
- c) 城市干道路面径流的收集方法：在立交桥的雨水下水口处放置收集箱，当路面产生径流时，等比例全过程收集流入下水井的雨水。
- d) 绿地径流采样用径流场，在径流场出口收集径流样品。
- e) 暴雨径流采样主要安排在雨季，每次降雨后立即去各采样点收集雨水样品，并清洗采样容器。样品及时送回实验室，保存在冰箱，供分析水质用。

6.3.2.2.2 蒸散发

蒸散发主要包括蒸腾和蒸散两部分。主要的监测方法有蒸渗仪法、涡动相关法、波纹比法、大孔径闪烁仪法等。

6.3.3 能源消费

6.3.3.1 调查家庭选择

能源消费以家庭为单位开展调查。由于城市内部的空间异质性和城市家庭的社区聚集性，调查家庭的选择采用分级抽样方法。首先为了防止调查单元分布的空间聚集，并具有随机性，可以先将城市空间均匀划分成一定数量的空间区域，在每一空间区域内随机性选择典型调查社区，然后在选择的社区内，随机选择调查家庭，进行家庭能源消费调查。

调查社区的数量需要根据城市规模、性质和社区建设方式等来确定。每个社区调查家庭的数量可以按20%的比例抽样。但实际工作中，调查社区和家庭的调查数量要受到监测对象的分布、可达性和经费等限制，期望越多越好。还需要考虑不同规模和性质的监测对象的数量平衡。

6.3.3.2 调查方法

家庭抽样调查的主要步骤分为问卷设计和调查实施两个过程。均以质量控制为原则，保证数据的真实性和代表性。调查方式为面对面式，通过志愿者协助被调查者填写问卷的方式完成调查，保证了数据来源的真实性。

6.3.3.3 调查内容

首先需要调查家庭消费活动，主要采用问卷调查法。问卷调查内容主要包括两大部分，第一部分是家庭基本情况调查，第二部分是家庭能源消耗跟踪调查。

a) 家庭基本情况调查：调查主要对家庭居住基本情况和人口经济基本情况等相关信息的获取，如表2所示。

表2 家庭基本情况调查

调查项目	具体调查内容
居住基本情况	家庭所在城区，住房所属社区性质，住房产权性质，建筑类型，住房面积，冬季采暖方式等
人口经济基本特征	常住人口数，家庭成员性别、年龄、受教育程度，家庭月均总收入等

b) 家庭能源消费终端调查：调查家庭中消耗能源的活动，主要包括照明、家电、供暖、制冷、烹饪、热水供应和交通出行。家庭能源消费终端数据的获取主要通过跟踪调查进行，调查时需要对每种消费终端所消耗的每种能源进行记录，记录方式根据每种能源消费终端能源消耗方式进行确定。每种能源消费终端能源消耗类型和数据获取方式见表3。

表3 家庭能源消费终端数据调查方式

能源消费终端	能源消耗类型	能源消耗数据获取方式
照明	电	记录家庭中每个灯具平均每天的使用时间
家电	电	记录家庭中主要家电每天的使用时间，包括冰箱、空调、洗衣机、电视机、抽油烟机、豆浆机、热水器和电脑等
供暖	电、天然气、热力（指集中供暖）	记录集中供暖记录供暖时间；自行供暖记录供暖方式及供暖时间，主要包括壁挂炉、空调、电取暖器供暖等
制冷	电	记录制冷设备的使用时间，主要包括空调和电风扇
烹饪	电、天然气、液化石油气	记录厨房电器每天的使用时间；厨房灶头的使用时间，灶头能源消耗类型主要是电、天然气和液化石油气
热水供应	电、天然气	记录热水供应方式，燃气和电热水器功率和使用时间
交通出行	电、汽油	记录自有交通工具（主要指私家车和电动自行车）每天出行距离，家庭使用汽油的数量

6.3.4 生活消费

6.3.4.1 调查家庭选择

由于城市内部的空间异质性和城市家庭的社区聚集性，调查家庭的选择采用分级抽样方法。首先为了防止调查单元分布的空间聚集，并具有随机性，可以先将城市空间均匀划分成一定数量的空间区域，在每一空间区域内随机性选择典型调查社区，然后在选择的社区内，随机选择调查家庭，进行家庭物质代谢的调查。

调查社区的数量需要根据城市规模、性质和社区建设方式等来确定。每个社区调查家庭的数量可以按20%的比例抽样。但实际工作中，调查社区和家庭的调查数量要受到监测对象的分布、可达性和经费等限制，期望越多越好。还需要考虑不同规模和性质的监测对象的数量平衡。

6.3.4.2 调查方法

家庭抽样调查的主要步骤分为问卷设计和调查实施两个过程。均以质量控制为原则，保证数据的真实性和代表性。调查方式为面对面式，通过志愿者协助被调查者填写问卷的方式完成调查，保证了数据来源的真实性。

6.3.4.3 调查内容

首先需要调查家庭消费活动，主要采用问卷调查法。问卷调查内容主要包括两大部分，第一部分是家庭基本情况调查，第二部分是家庭生活消费活动跟踪调查。

a) 家庭基本情况调查：调查主要对家庭居住基本情况和人口经济基本情况等相关信息的获取，具体内容见表4。

表4 家庭基本情况调查

调查项目	具体调查内容
居住基本情况	家庭所在城区，住房所属社区性质，住房产权性质，建筑类型，住房面积，冬季采暖方式等
人口经济基本特征	常住人口数，家庭成员性别、年龄、受教育程度，家庭月均总收入等

b) 家庭消费活动调查：调查家庭食品、日用品等消费活动，调查过程中需要针对每项消费活动采用不同的数据获取方式。具体内容和数据获取方法见表5。

表5 家庭生活消费活动调查内容及数据获取方法

调查项目	具体调查内容	调查方法	数据记录方法
食品	粮食、豆制品、蔬菜、油脂类、猪牛羊肉、家禽、蛋类、奶及奶制品、水产品、食糖、酒饮类和干鲜瓜果等	跟踪调查	使用弹簧秤对调查期内每天消费的各类食品进行称重并记录数据
日用品	家庭成员购买的日用品	跟踪调查	记录调查期内所有家庭成员购买日用品种类、数量。

6.3.5 城市家庭污染物排放

根据城市家庭生活和能源消费调查数据，采用排放因子法，估算出城市家庭的直接和间接碳氮排放量。

7 质量控制

7.1 设备维护

7.1.1 关键设备维护

仪器设备应该按期维护，主要应该注意：

- a) 仪器设备实行分类管理，根据设备的使用频率、磨损规律制定相应的维护保养计划和保养规程。仪器设备出厂说明书中注明保养周期的，依说明书的规定执行；
- b) 例行维护与保养，使用过程中对设备进行清洁、性能调整和易损耗部件替换；
- c) 定期维护与保养，无论仪器是否运行正常，应按照既定的仪器设备保养计划和规程，对仪器设备的运行状态进行检测，进行清洁、紧固、更换损耗部件等工作；
- d) 使用或保养过程中，如发现重大问题应立即停止运行，及时上报有关领导；
- e) 对仪器设备的保养过程和相关技术参数进行备案，作为日和仪器设备维修的依据；
- f) 仪器设备长时间搁置不用时，应注意定期进行通电检查和清洁。

7.1.2 仪器设备分类定期维护

为了提高数据质量，需要定期对关键设备进行维护，减少设备故障率，延长设备的使用寿命，确保设备的使用安全及检验准确性。需要制定设备维护的相关制度并严格执行，不断掌握仪器设备的使用维护注意事项，定期对关键设备进行清洁维护。

7.2 技术人员培训

为了提高监测规范性和数据质量，需要定期对监测技术人员进行定期培训和指导，具体包括：

- a) 设备使用和设备维护人员认真参加关键设备的操作技术培训，做好培训笔记，不断学习总结；
- b) 技术人员应熟练掌握关键设备的操作流程，严格遵守设备使用和维护规范，具备设备调试、故障排除、性能调整等基本能力；
- c) 设备运行过程中，详细记录使用情况和运行状态；
- d) 其他未经过技术培训的人员一律不准使用或维修相关设备，以免出现故障或损坏。

7.3 监测数据质控

7.3.1 数据的完整性检查

元数据文档记录是数据质量控制的基本保证，通过审核元数据文档记录，可以溯源数据的误差来源，保证数据的完整性和可靠性。包括：

- a) 场地记录文档：对长期采样地背景信息的详细记录；
- b) 方法记录文档：对采样时间、地点、采样方法的详细记录；
- c) 分析记录文档：分析测试条件、地点、测试方法等的详细记录；
- d) 数据处理文档：体现从原始数据到最终结果报告的过程及数据转换步骤；
- e) 仪器和标样检定文档：审核分析测试的置信度。

在发现基础数据不全或数据产生背景不够完整（如缺乏试验处理的说明）时，及时补充。

7.3.2 数据的一致性检查

审核样地背景资料，检查年度数据的不一致性。根据历史资料，评价数据的合理性，发现问题时及时分析原因。每个数据集应有元数据文件、数据记录文件和关键问题的描述。

7.3.3 数据的有效性检查

测定项目需采集 3-6 个重复样，以保证数据的代表性和有效性。数据的缺失率不大于 70%。

7.3.4 异常值的取舍

为了使长期监测结果更符合客观实际，必须剔除明显歪曲监测结果的测定数据。对可疑数据的取舍，应采取以下原则：

- a) 复查试验过程，如果是过失误差，则应舍弃；
- b) 如果未发现过失，则应按统计程序决定取舍。大样本离散数据的取舍采用三倍标准差法；小样本离散数据的取舍采用狄克逊（Dixon）检验法或者格鲁勃斯（Grubbs）检验法。详细方法参见《陆地生态系统土壤观测指标与规范》。

7.3.5 缺失数据的处理

在监测过程中如有缺失数据，一般通过以下方式进行处理。

- a) 数据的缺失一般由以下情况引起：
 - 1) 没按要求采样；
 - 2) 不满足质量控制，数据被拒绝进入数据集；
 - 3) 样品保存或采样分析超过规定时间；
 - 4) 样品储存或运输过程中丢失。
 - 5) 低于检测限。

- b) 对缺失数据的统计处理一般采用三种方法解决：
- 1) 删除：描述性统计时自动删除缺失数据；
 - 2) 替代：选用监测的平均值或前一个监测值或用回归预测值替代；
 - 3) 分组替代：将监测值按照研究目的分组，选用分组后的平均值或回归预测值替代。
- c) 缺失数据应在备注中说明是何种原因引起的缺失。

参 考 文 献

- [1] 仇江啸, 王效科. 基于高分辨率遥感影像的面向对象城市土地覆被分类比较研究. 遥感技术与应用, 2010, 25(5):653-661.
- [2] Wang HF, Qiu JX, Breuste J, Ross Friedman C, Zhou WQ, Wang XK. Variations of urban greenness across urban structural units in Beijing, China. Urban Forestry & Urban Greening, 2013(12): 554-561.
- [3] 赵娟娟, 欧阳志云, 郑华, 等. 城市植物分层随机抽样调查方案设计的方法探讨. 生态学杂志, 2009, 28(7): 1430-1436.
- [4] 吴冬秀, 张琳, 宋创业, 张淑敏等. 陆地生态系统生物观测指标与规范. 北京: 中国环境出版集团, 2019.
- [5] 潘贤章, 郭志英, 潘恺等. 陆地生态系统土壤观测指标与规范. 北京: 中国环境出版集团, 2019
- [6] 中国生态系统研究网络科学委员会. 陆地生态系统大气环境观测规范. 北京: 中国环境科学出版社, 2007.
- [7] 孟龄, 王效科, 欧阳志云, 等. 北京城区气传花粉季节分布特征. 生态学报, 2013(8): 2381-2387.
- [8] 方治国, 欧阳志云, 胡利锋、王效科、林学强. 北京市夏季空气微生物群落结构和生态分布, 生态学报, 2005, 25 (1) : 83-88.
- [9] 袁国富, 朱治林, 张心昱, 唐新斋等. 陆地生态系统水环境观测指标与规范. 北京: 中国环境出版集团, 2019.
- [10] 中华人民共和国环境保护部. 关于发布全国生物物种资源调查相关技术规定(试行)的公告(2010年 第27号): 附件三 全国淡水生物物种资源调查技术规定(试行).
- [11] 罗婷文, 欧阳志云, 王效科, 等. 北京城市化进程中家庭食物碳消费动态. 生态学报, 2005(12): 3252-3258.
-