

中国地质调查局地质调查技术标准

DD2005-02

区域生态地球化学评价技术要求 (试行)

中国地质调查局

2005 年 10 月

目 次

| | |
|--|----|
| 前言 | 4 |
| 1 范围..... | 2 |
| 2 规范性引用文件..... | 2 |
| 3 术语和定义..... | 3 |
| 4 总则..... | 3 |
| 4.1 评价目的..... | 4 |
| 4.2 评价任务..... | 4 |
| 4.3 评价思路..... | 4 |
| 4.4 评价选区..... | 5 |
| 4.5 评价方法..... | 5 |
| 4.6 评价工作顺序..... | 5 |
| 5 设计编审..... | 5 |
| 6 异常元素及有机污染物迁移途径及来源追踪..... | 6 |
| 6.1 河流生态系统..... | 6 |
| 6.2 农田生态系统 | 10 |
| 6.3 城市生态系统 | 14 |
| 6.4 湖泊湿地生态系统 | 17 |
| 6.5 浅海生态系统 | 18 |
| 7 生态系统异常元素及有机污染物生态效应评价 | 20 |
| 7.1 农田生态系统 | 20 |
| 7.2 城市生态系统 | 26 |
| 7.3 湖泊湿地生态系统 | 31 |
| 7.4 浅海生态系统 | 33 |
| 8 生态系统安全性的地球化学预警预测 | 35 |
| 8.1 河流生态系统..... | 35 |
| 8.2 农田生态系统 | 36 |
| 8.3 湖泊是湿地生态系统 | 38 |
| 9 报告编写 | 39 |
| 9.1 图件..... | 39 |
| 9.2 报告..... | 39 |
| 9.3 数据库..... | 39 |
| 附录 A 河流悬浮物、水、水系沉积物样品布置及采样方法（规范性附录） | 41 |
| 附录B ¹⁴ C和热释光测年样品采集技术要求（规范性附录） | 46 |
| 附录 C 农田区不同污染源采集方法（规范性附录） | 47 |
| 附录 D 城市降尘采集方法（规范性附录） | 57 |
| 附录 E 湖泊及浅海沉积物采集方法（规范性附录） | 60 |
| 附录 F 生物样品采集方法（规范性附录） | 62 |
| 附录 G 土壤溶液野外采集方法（规范性附录） | 66 |
| 附录 H 有机污染物采样技术要求（规范性附录） | 69 |
| 附录 I 设计书编写内容及要求（规范性附录） | 72 |
| 附录 J 区域生态地球化学评价报告编写提纲（规范性附录） | 74 |

前 言

《区域生态地球化学评价技术要求（试行）》是针对我国已进行过多目标区域地球化学调查的地区进一步开展生态地球化学评价而编制的。目的是为使我国各地区正在/将要开展的区域生态地球化学评价置于同一工作平台和同一技术要求之下，确保达到同一评价水平，以便进行全国对比。

以往国内外均未编制过类似工作的技术要求或指南。

本技术要求的附录 A～附录 J 为规范性附录。

本技术要求由中国地质调查局提出和归口管理。

本技术要求由中国地质大学(北京)、中国地质科学院地球物理与地球化学勘查研究所等单位共同起草。

本技术要求主要起草人：杨忠芳 成杭新 周国华 李瑞敏 祁士华 冯海艳

本技术要求由中国地质调查局负责解释。

1 范围

本技术要求规定了区域生态地球化学评价的目标任务、评价内容、技术方法、资料综合整理、评价报告编写等技术内容。

本技术要求适合于开展过多目标地球化学调查与评价的第四系发育的平原、盆地、三角洲、近岸海域、湖泊湿地、丘陵及黄土高原等不同景观区开展的生态地球化学评价工作。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本技术要求的引用而成为本技术要求的条款。凡是注日期的引用文件，其随后的修改单（不包括勘误的内容）或修订版本均不适用于本技术要求，然而，鼓励根据本技术要求达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本技术要求。

GB5749-1985 生活饮用水卫生标准

GB9137-1988 保护农作物的大气污染物最高允许浓度

GB11607-1989 渔业水质标准

GB11730-1989 农村生活饮用水卫生标准

GB11901-1989 水和废水监测分析方法

GB5084-1992 农田灌溉水质标准

GB/T14583-1993 环境地表 γ 辐射剂量率测定规范

GB/T14848-1993 地下水质量标准

GB15618-1995 土壤环境质量标准

GB3095-1996 环境空气质量标准

GB3097-1997 海水水质标准

GB18406.1-2001~GB184013.4-2001 农产品安全质量标准

GB18421-2001 海洋生物质量

GB18668-2002 海洋沉积物质量

GB3838-2002 地表水环境质量标准

DZ/T0145-1994 土壤地球化学测量规范

DZ/T0167-1995 区域地球化学勘查规范(1:200000)

HJ/T 91-2002 地表水和污水监测技术规范

HJ/T165-2004 酸沉降监测技术规范

NY/T391-2000 绿色食品产地环境技术条件

NY/T418-2000~NY/T437-2000 绿色食品系列标准

NY/T5001-2001~NY/T5073-2001 无公害食品系列标准

DD2005-01 多目标区域地球化学调查规范（1:250000）

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本技术要求。

生态地球化学 ecosystem geochemistry

生态地球化学是研究元素或化合物地球化学分布、分配特征及在地球系统中（岩石圈、土壤圈、水圈、大气圈和生物圈之间）循环过程和迁移转化条件、机理，并对其演化趋势进行预测的科学。

区域生态地球化学 regional ecosystem geochemistry

区域生态地球化学是生态地球化学的一个分支。它是在宏观尺度(面积范围为 $n \times 10^6 \text{ km}^2 \sim n \times 10^2 \text{ km}^2$)上研究地球表层生态系统中化学元素及化合物的成因、来源、迁移转化、生态效应，并对其区域发展趋势进行预警预测的科学。

区域生态地球化学评价 regional ecosystem geochemistry assessment

针对流域或区带(面积范围为 $n \times 10^6 \text{ km}^2 \sim n \times 10^2 \text{ km}^2$)内元素和化合物分布特征，通过对元素及化合物的来源示踪及迁移途径研究，评价它们对生态系统及各组成要素的影响，预测其未来变化趋势。

生态系统 ecosystem

生态系统是一定范围内，由生物群落与其环境所组成，具有一定格局，借助于功能流而形成的稳态系统。本技术要求将评价地区生态系统划分为河流生态系统、农田生态系统、城市生态系统、湖泊湿地生态系统、浅海生态系统等。

4 总则

4.1 评价目的

区域生态地球化学评价主要研究元素区域组成特征和循环转化过程,及其对生态环境产生的影响。评价工作主要针对影响社会经济发展的、由复杂因素形成的、呈区域性分布的宏观生态地球化学问题,以区域地球化学分布为基础和出发点,针对大的流域或地域,在区域地球系统层面上,研究区域空间环境中元素在系统各部分之间流动、迁移和相互作用关系,按照河流生态系统、农田生态系统、城市生态系统、浅海生态系统及湖泊湿地生态系统进行生态地球化学评价,目的是为国家土地质量评估与生态管护、农业种植适宜性与经济结构调整及环境污染治理等各方面服务,为经济社会科学和可持续发展提供依据。

4.2 评价任务

4.2.1 追踪异常元素及有机污染物的来源。重点查明由区域地质背景和大规模表生地球化学作用引起的分布面积广、异常强度高、生态效应显著的元素异常来源和成因特征;

4.2.2 查明异常元素及有机污染物迁移途径。研究异常元素及有机污染物在区域范围内的迁移途径、影响因素、输入输出总量和速率;

4.2.3 开展异常元素及有机污染物生态效应评价。在元素和化合物异常分布区或环境敏感区,评价异常元素及有机污染物对生态系统及各要素可能产生的作用 and 影响;

4.2.4 进行生态系统安全性的地球化学预警预测。对异常元素及有机污染物的变化趋势进行风险预测,对异常元素和化合物的危害趋势进行预警;对已污染的生态系统提出治理、修复和监测建议。

4.3 评价思路

区域生态地球化学评价以多目标区域地球化学调查或其他区域性地球化学调查为基础,以流域/区带为评价主体,以生态系统为评价单元,以土壤为中心,以元素和化合物在大气—水体—土壤—生物体中的循环迁移为主线,以研究元素的输入输出通量和生态效应为重点,在国家或流域/区带尺度上,建立系统的异常成因追踪、迁移途径研究、生态效应评价和发展趋势预测的方法技术体系与模型。

4.4 评价选区

根据多目标区域地球化学调查或其他区域性地球化学调查，对元素（化合物）分布与分配规律及异常特征进行研究，选择可能对生态系统产生重要影响的，具有典型意义的地区作为区域地球化学评价选区。

4.5 评价方法

区域生态地球化学评价方法以传统勘查地球化学方法技术为主，同时辅以同位素测年和示踪等方法技术。采样介质除常规的岩石、土壤、水、水系沉积物外，还采集大气、江河悬浮物、生物、湖底和浅海沉积物等。

4.6 评价工作顺序

评价工作应按设计编审、异常元素及有机污染物来源追踪及迁移途径判别、异常元素及有机污染物生态效应评价、生态效应安全性的地球化学预警预测、报告编写等顺序进行。

5 设计编审

5.1 设计书是开展区域生态地球化学评价的依据，应由项目承担单位根据主管部门下达的任务书要求编写。

5.2 设计编写前准备工作

5.2.1 资料收集

5.2.1.1 收集评价区自然地理、土壤类型、社会经济概况、工农业状况、城镇发展、主要生态问题等资料。

5.2.1.2 收集多目标地球化学调查和其他区域地球化学资料。

5.2.2 资料分析

依据多目标地球化学调查，综合分析收集的各方面资料，结合评价地区存在的生态地球化学问题，认真总结影响评价地区环境质量的元素、元素组合和有机污染物类型，筛选出需进行评价的有毒有害元素（包括重金属、类金属、放射性元素等）、有益元素、有机污染物和土壤理化指标。

5.2.3 实地踏勘

在收集资料和初步研究基础上，对测区进行实地踏勘，对特殊样品进行实地预采集，对特殊分析方法进行预研究，制定生态地球化学采样评价方案。

5.3 编写区域生态地球化学评价设计内容及要求遵照附录 I 的规定执行。

5.4 设计书提交主管部门审查后实施。

6 异常元素及有机污染物迁移途径及来源追踪

异常元素及有机污染物迁移途径及来源追踪，按生态系统进行。

6.1 河流生态系统

河流生态系统在空间上应大体按照岩石（矿物）—土壤—水系沉积物—水—悬浮物（重砂）等元素迁移踪迹进行异常追索。在需要研究迁移历史及沉积速率时，还应进行河漫滩沉积物剖面测量。

6.1.1 悬浮物、水和水系沉积物

6.1.1.1 样点布置

6.1.1.1.1 主干河流和主要流水系均应布置采样点。

6.1.1.1.2 各支流应在上、中、下游分别布置采样点，汇入主干河流后在下方位置布置采样点；每个点控制面积一般不超过 5000km²。

6.1.1.1.3 主干河流及主要支流采样间距一般为 80 km~100 km。采样点位应兼顾河漫滩柱状样布设位置。

6.1.1.1.4 枯水期同点位采集悬浮物、水系沉积物；丰水期只采集悬浮物样品；各支流汇入主干河流前的采样点（一般为下游采样点），在采集悬浮物样品同时加采过滤后的清水样品（水地球化学样品）。

6.1.1.1.5 流经中等以上城市的河流需在该城市上、下游分别布置采样点。

6.1.1.2 样点采集

6.1.1.2.1 枯水期采样时间为当年 11 月~次年 1 月，丰水期采样时间 6 月~9 月采集。

6.1.1.2.2 悬浮物、水样、水系沉积物样品采集技术要求见附录 A。

6.1.1.2.3 悬浮物样品干样重 1 g~3 g，水系沉积物重量为 1 kg，水地球化学样为 1000mL，外检样应加倍取样。

6.1.1.2.4 全流域统一编号。样品编号以采样物质代码（悬浮物—XF、水系沉积物—SC、水—S）+流域代码（长江流域—CJ、黄河流域—HH；珠江流域—ZJ；松花江流域—SH 等）+

省代码+省内连续编号表示。

6.1.1.3 样点分析

6.1.1.3.1 悬浮物、水系沉积物样品统一分析单位和分析方法。水样分析单位由各省实验室承担，分析要求按 DD2005-01 多目标区域地球化学调查规范 (1:250000) 执行。

6.1.1.3.2 悬浮物、水系沉积物、水地球化学样分析元素和指标种类依据不同流域存在的生态地球化学问题确定，同一流域分析的元素和指标种类一致。

6.1.1.3.3 分析元素和指标种类见表 1。分析方法准确度和精密度及样品测试中的质量控制，按 DD2005-03 生态地球化学评价样品分析技术要求执行。

表 1 应测和选测分析元素、指标及有机污染物

| 一般应测元素及指标 ^b | | | 一般选测元素及化合物 | | |
|---|----|---------|------------|----|-------|
| pH 值 | Hg | Rb | Ag | Si | Gd |
| 水温 ^a | I | Se | Au | Sn | Tb |
| Al | K | Sm | Be | Ta | Dy |
| As | Mg | Sr | Bi | Ti | Ho |
| Ba | Mn | Th | Ce | V | Er |
| Ca | Mo | Tl | Cs | W | Tm |
| Cd | Na | U | Fe | La | Yb |
| Co | Nd | Zn | Ga | Ce | Lu |
| Cr | Ni | 悬浮物矿物物相 | Nb | Pr | Y |
| Cu | P | 悬浮物粒径 | Sb | Pm | 有机污染物 |
| F | Pb | | Sc | Eu | |
| <p>a 仅指水体温度测定；</p> <p>b 悬浮物和水系沉积物应测元素和指标，水体测试元素可作参考，不作硬性要求。</p> | | | | | |

6.1.1.3.4 10%悬浮物样品作重复分析，20%悬浮物样品进行外检。

6.1.1.4 结果整理

6.1.1.4.1 对比分析不同支流悬浮物、水系沉积物和水体中元素含量大小，结合研究水体中悬浮物含量、水流量等参数，估算不同支流、同一流域不同季节携带元素和有机污染物年通量。

6.1.1.4.2 计算元素和有机污染物在水体—悬浮物—水系沉积物中的分配系数，研究水体 pH 值、水体温度、悬浮物矿物种类、悬浮物粒径及元素地球化学行为对分配系数的影响，查明元素和有机污染物迁移的主要途径和控制因素。

6.1.1.4.3 分析对比主干河流不同流域和城市上游、下游流域中元素及有机污染物的含量

变化情况，研究人类生产生活对元素和有机污染物迁移的影响程度。

6.1.2 岩石(矿石)、土壤和水系沉积物

6.1.2.1 样点布置

6.1.2.1.1 在携带异常元素年通量大的支流上游汇水域内，布置工区。

6.1.2.1.2 沿主要河流汇水地区进行水系沉积物测量、土壤地球化学测量和岩石(矿石)地球化学测量样点布置。

6.1.2.1.3 样品种类及样品数量布置，可依据不同汇水盆地实际情况选择：

a) 水系沉积物样品

在利用已有的 1:200000 区域化探数据基础上，根据需要，在二级或更高次级的水系中布置水系沉积物样点。

b) 岩石和矿石样品

分析汇水盆地 1:200000 区域化探数据，在异常地段，应在一定面积内或以剖面方式布置岩石和矿石样品采样点。追踪 Cd、Hg、Pb、As、F 等重金属(类金属)和非金属元素时，需采集出露面积大、易风化的各类硫化物矿床、煤层、黑色岩系和基性—超基性岩等；追踪天然放射性污染来源时，需选择含 K、U、Th 比较多的花岗岩类岩石。

c) 土壤样品

在水系沉积物、岩石和矿石布置样点的地区，根据需要，布置不同比例尺的网格化土壤采样点。

6.1.2.2 样点采集

6.1.2.2.1 岩石(矿石)样品

a) 采集的岩石(矿石)样品包括新鲜样品风化和半风化样品，每种样品采集 5 件~10 件，每件样品重量大于 1 kg。

b) 异常元素含量高、出露面积大且易风化的岩石(矿石)需采集 1 件~2 件人工重砂样品，包括新鲜岩石、风化和半风化岩石两类，样品重量 5 kg~10 kg。

6.1.2.2.2 水系沉积物样品

a) 水系沉积物样品采集重量 1 kg。

b) 主要水系需作水系沉积物重砂样品采集，重砂样品应就地淘洗，所获灰砂重量应大于 1 kg。

6.1.2.2.3 土壤样品

a) 采集 0 ~20 cm 表层土壤，样品重量 1 kg。

b) 土壤覆盖面积大、基岩出露较少的地区，可进行土壤垂向剖面测量，剖面深度以

见到成土母质为准，采集母质层、淀积层、淋溶层和腐殖层样品；土壤覆盖较厚的地区，剖面深度为 1.5 m~2 m，采样密度一般为 1 个点/10 cm~20 cm，样品重量为 1 kg。

6.1.2.3 样品分析

6.1.2.3.1 除粒径外，岩石、土壤和水系沉积物分析元素及指标种类同悬浮物分析的元素和指标，土壤增测 pH 值和 Corg。

6.1.2.3.2 重砂样品需进行矿物分离和鉴定，含异常元素高或总量大的矿物需定量鉴定，分离出的不同硫化物、氧化物矿物进行 As、Cd、Cr、Cu、Hg、Ni、Zn、Pb、F、Se 等元素测定。

6.1.2.3.3 分析元素和指标种类，可根据不同流域存在的实际问题进行增减。

6.1.2.4 结果整理

6.1.2.4.1 对比研究汇水地区各出露岩石和矿体中异常元素含量高低，结合岩石和矿体出露面积大小、风化难易程度、元素存在形态变化等因素，确定异常元素年输出量较大的岩石和矿床。

6.1.2.4.2 通过新鲜岩石(矿石)—风化岩石(矿石)—土壤中异常元素含量、元素存在形式和矿物特征研究，结合典型土壤剖面中元素和矿物成分垂向变化特征，确定异常元素由岩石到土壤圈的迁移途径和影响因素。

6.1.2.4.3 综合分析研究异常元素在岩石(矿石)—风化岩石—水系沉积物—悬浮物—水体的含量变化、元素存在形态和矿物学变化特征，通过系统的微量元素示踪研究，确定异常元素由岩石(矿石)、半风化岩石到水系中各相态分布分配比例，查明由河流流域携带异常元素进行短距离和长距离迁移的途径及比例。

6.1.3 河漫滩沉积物

6.1.3.1 样点布置

6.1.3.1.1 在携带异常元素年通量大的支流下游汇入主干河流处，布置工区。

6.1.3.1.2 河漫滩垂向剖面选择在支流汇入主干河流前河堤较平缓地带，通常年份的洪水能漫过部位。

6.1.3.1.3 确定具体采样位置时，应进行野外踏勘、观察与实地居民访问，确定采样点及周围地区基本无人生产生活活动影响。

6.1.3.2 样点采集

6.1.3.2.1 采样时间为秋季或平水季节。剖面深度为 1.5 m~2 m。

6.1.3.2.2 每个采样点，应由 3 个垂向剖面组成。一个剖面用于元素含量测定，一个剖面用于有机污染物分析或备用，一个剖面用于²¹⁰Pb和¹³⁷Cs年龄测定。

6.1.3.2.3 进行²¹⁰Pb和¹³⁷Cs年龄测定的河漫滩垂向剖面，应为沉积物粒度较小、粘土矿物含量较多、较致密的沉积物剖面。

6.1.3.2.4 每个河漫滩垂向剖面采样密度小于或等于 1 个样/2 cm，在河漫滩年沉积厚度较大的地区，采样密度可放稀至 1 个样/5 cm。每件样品采集时需具有相同的体积。

6.1.3.2.5 每个河漫滩垂向剖面应有照片或素描。

6.1.3.3 样点分析

6.1.3.3.1 每层样品分析的元素为 As、Cd、Cr、Cu、Hg、Ni、Zn、Pb、F、Se、F、K、Na、Ca、Mg、Al。不同剖面可根据悬浮物和汇水地区各类地质体中元素含量，增加测试的元素和指标。

6.1.3.3.2 在工农业相对发达地区，可增测有机污染物含量。

6.1.3.3.3 典型剖面每层样品进行²¹⁰Pb和¹³⁷Cs年龄测定。

6.1.3.4 结果整理

6.1.3.4.1 通过水系沉积物、土壤和基岩（矿石）中微量元素地球化学特征对比研究，圈定异常元素的源区及来自的主要地质体。

6.1.3.4.2 通过异常元素在河漫滩垂向剖面上的变化规律，区分异常成因。

6.1.3.4.1 通过河漫滩洪积物垂向上的年龄测定、重金属含量研究和事件定年，可计算重金属沉积速率，查明异常元素在不同时期的累积规律。

6.2 农田生态系统

6.2.1 异常元素迁移途径及自然来源追踪

农田生态系统中异常元素的自然来源是指土壤中由成土母质、成土过程和各种表生地球化学作用引起的元素异常分布。

6.2.1.1 样点布置

6.2.1.1.1 丘陵区

a) 垂向剖面

(a) 以土属为基本单元，且现为主要农耕区的丘陵地带布置样点。每一采样单元内垂向剖面为 3 条~5 条；

(b) 在多目标地球化学调查基础上, 分别选择在土壤中有益元素、有害元素异常分布区及土壤 pH 值等物理化学性质不同的农耕区布置采样点;

(c) 采样点选择在土壤厚度适中处。

b) 水平剖面

(a) 在土壤中有益元素、有害元素含量不同地区(丰富、适中、缺失)布置剖面;

(b) 在不同坡度、植被覆盖率和土壤使用方式(农田、果园、林地、草地等)处布置剖面;

6.2.1.1.2 平原区

a) 对物源区明显且较单一的运积平原区, 在水系的上、中、下游各布置 1~2 条横穿汇水域的水平长剖面, 采样密度为 1~2 个样/50 m; 对物源区不明显或存在多个物源区的运积平原区, 要求按照土种或不同汇水流域进行样点布置, 每类样品数应不少于 10 件。

b) 在泛滥沉积物堆积区, 选择古决口的完整沉积旋回, 在古河道、决口扇扇口和扇缘及泛滥盆地分别布置剖面; 在现代三角洲沉积地区, 依据不同时代进行土壤垂向剖面布置。

c) 在黄土高原盆地堆积地区, 沿盆地内水系上、中、下游布置 1 条~2 条横穿汇水流域的水平土壤剖面, 采样密度为 1~2 个样/100 m; 水系上游基岩出露区, 选择分布面积大、且易风化的岩石、地层或矿体(或系统收集 1:200000 化探数据)进行样点布置; 水系流经的黄土塬区, 选择典型黄土进行样点布置。

6.2.1.2 样点采集

6.2.1.2.1 丘陵区

a) 垂向剖面

在采样点上布置垂直剖面, 剖面深度以见到成土母岩—基岩为准。土壤垂向分层明显的剖面采集成土母岩、母质层、淀积层、淋溶层、腐殖层(根系土)样品; 土壤垂向分层不明显的剖面, 以 1 个样/10 cm~20 cm 的密度等间距采样, 每种样品重量大于 1 kg。

典型土壤剖面应有素描图或照片。

b) 水平剖面

剖面布置从坡顶至坡底, 并向平原区延续 3 个采样点, 采样密度为 1 样/40 m, 如果剖面较短, 可加密至 1 样/20 m, 每条剖面样品数量大于 10 件。要求记录植被覆盖率、土地使用方式、坡度和坡向, 典型剖面要求有实测剖面图和景观照片。

土壤样品采集深度为 0 cm~20 cm, 样品重量大于 1 kg。

6.2.1.2.2 平原区

a) 依据土壤 pH 值变化范围, 一种土壤类型布置 1 条~3 条土壤垂向剖面, 剖面深度为 1.5 m~2 m, 采样密度为 1 个样/20 cm。

b) 水平剖面 and 面积性样品, 采样深度为 0 cm~20 cm 的耕作层和犁底层以下两套样品, 样品重量为 1 kg。

c) 泛滥沉积物区土壤垂向剖面分层采样, 记录每层岩性、粒度、颜色、厚度等特征。对典型剖面要求采集年龄样品, 年龄样品必需新鲜无风化。依据待测地层年龄范围和样品地球化学特征, 可选择²¹⁰Pb、¹³⁷Cs、¹⁴C和热释光等测年方法, ¹⁴C和热释光样品采集方法及样品要求见附录B。

d) 黄土高原盆地水系上游基岩出露区, 土壤、岩石、地层、矿床等样品采样方法、样品种类及重量同 6.1.2。

e) 每类黄土样品采集数量大于 5 件, 重量为 1 kg。记录样品的颜色、粒度和厚度等。

6.2.1.3 样品分析

6.2.1.3.1 所有新鲜土壤样品测试 pH 值。

6.2.1.3.2 所有样品分析 N、P、K、B、Mo、Mn、Ca、Mg、Al、Na、Se、Si、Fe 和 As、Cd、Cr、Pb、Ni、Hg、Cu、Zn 全量。

6.2.1.3.3 土壤垂向剖面腐殖层样品(表层样品)、平原区水平剖面 and 面积性样品测试 Corg、CEC, 典型样品测试质地。

6.2.1.3.4 土壤垂向剖面腐殖层、淋溶层样品和平原区水平剖面、面积性样品分析 As、Cd、Cr、Cu、Ni、Hg、Pb、Zn 不同形态含量和 N、P、B、Mo、Mn、Se、Si 等元素的有效态含量。

6.2.1.3.5 丘陵区典型垂向剖面进行重矿物分离、鉴定。

6.2.1.3.6 分析元素和分析项目依据不同流域/区带实际情况, 可以进行增减。

6.2.1.4 结果整理

6.2.1.4.1 研究成土过程中营养元素和重金属元素在土壤垂向上迁移变化规律、分配特征和母岩成分对土壤元素的控制。

通过 ba 值、 β 值和 μ 值的计算, 了解土壤风化淋溶的强度, 研究成土母质、坡度、植被覆盖率、质地和土壤酸碱度变化对土壤中营养元素分布分配的影响, 查明土壤中营养元素的空间变异特征和规律。

土壤风化淋溶系数(ba 值) 指钠、钾、钙和镁氧化物分子数之和与氧化铝分子数的比值, 计算公式为:

$$ba = \frac{Na_2O + K_2O + CaO + MgO}{Al_2O_3} \dots\dots\dots(1)$$

土壤淋溶系数(β值): 指淋溶层钾、钠氧化物分子数与氧化铝的分子数比与母质层钾、钠氧化物分子数与氧化铝分子数之比的比值, 计算公式为:

$$\beta\text{值} = \text{淋溶层} \frac{K_2O + Na_2O}{Al_2O_3} / \text{母质层} \frac{K_2O + Na_2O}{Al_2O_3} \dots\dots\dots(2)$$

土壤风化指数(μ值): 是指淋溶层和母质层中氧化钾与氧化钠分子的比值。

$$\mu\text{值} = \text{淋溶层} \frac{K_2O}{Na_2O} / \text{母质层} \frac{K_2O}{Na_2O} \dots\dots\dots(3)$$

6.2.1.4.2 通过土壤水平剖面元素含量和元素不同形态对比分析, 研究不同坡度、不同植被覆盖率和土地利用方式的差异对土壤中化学元素再分配影响, 查明元素分布空间异质性特征。

6.2.1.4.3 分析对比平原区上游物源的各类岩石地球化学资料 and 不同类型土壤化学元素的含量特征, 研究物源区岩石对平原区土壤化学成分空间分布的影响, 提出农业结构调整建议。

6.2.1.4.4 结合研究区水、植物和大气干湿沉降中相应元素的分析结果, 研究元素在岩石—土壤—水—生物中迁移转化途径。

6.2.1.4.5 对比分析耕作层和犁底层土壤样品元素含量和不同形态含量变化, 研究平原区自然成土作用和农耕生产对土壤元素的分布分配影响。

6.2.1.4.6 通过古代沉积、现代沉积剖面定年和元素含量测定, 恢复泛滥区决口扇沉积旋回历史, 不同时代泛滥沉积物元素含量特征, 结合上游河流侵蚀区工农业发展和城市化进程特征, 阐明侵蚀区人类活动对下游地区环境质量影响。

6.2.1.4.7 通过对基岩出露区典型样品、黄土塬黄土样品和盆地内土壤样品系统的元素地球化学对比分析, 查明基岩出露区各类岩石(地层和矿体)对盆地内土壤元素空间分布的制约, 探讨黄土对土壤元素含量的稀释作用。

6.2.2 异常元素人为来源及迁移途径研究

异常元素人为来源主要指大气干湿沉降、农药、化肥和灌溉水及其它方式产生的异常。

6.2.2.1 样点布置

6.2.2.1.1 大气干湿沉降、农药和化肥样点布置以不同景观和不同行政区为依据, 空间上要求样点能覆盖整个研究区, 均匀布点, 样点密度为 10 个~20 个样/万km²。

6.2.2.1.2 在大气污染较严重城市的下风郊区, 大气干湿沉降样点可加密布置。

6.2.2.1.3 农田灌溉水以地表水为主的地区, 以研究区主要灌溉水系(水渠)为布点依据,

样点密度为 10 件~15 件/万km²。

6.2.2.1.4 在污灌严重的地区，灌溉水样点可加密。

6.2.2.2 样点采集

6.2.2.2.1 大气干湿沉降样品采集周期为一年，降尘量较大的地区，可按不同季节采集。

样品采集方法见附录 C。

6.2.2.2.2 农田灌溉水采集时间为农田灌溉时期，水样采集量、添加保护剂种类、水样运输和保存等见附录 C。

6.2.2.2.3 同点位采集底泥样品。

6.2.2.2.4 化肥和农药采集种类应代表评价区化肥和农药种类的 90%以上，可采用分片集中购买或均匀布点分散到农户购买两种方法，每件样品重 1 kg，封装于塑料袋中，具体要求见附录 C。

6.2.2.3 样点分析

6.2.2.3.1 对干湿沉降总量进行准确定量，具体方法见附录 C。

6.2.2.3.2 化肥、农药和干湿沉降样品：分析 As、Cr、Cd、Cu、Hg、Pb、Zn、Ni、F、N、P、K、B、Mo、Mn、Ca、Mg、Se 等元素含量。

6.2.2.3.3 灌溉水样品：一般样品分析元素种类同化肥，在工业废水和城市生活废水灌溉严重地区，可增加有机污染物、微生物和其它水质检测指标。

6.2.2.3.4 分析元素和项目依据不同流域/区带的实际情况，可以进行增减。

6.2.2.4 结果整理

6.2.2.4.1 通过实地调研评价区单位面积土壤中化肥年施用量、农药年使用量、灌溉水年灌溉量、干湿沉降年沉降量，结合不同样品元素和有机污染物等成分分析，可定量计算由施肥、农药、灌溉和大气干湿沉降带入土壤中的有害元素、有益元素和有机污染物的年通量。

6.2.2.4.2 通过研究由各种农业活动造成的土壤中元素的理论累积量与现实含量之间的差别，结合研究区深层样品、水体(地下水、地表水)、大气和植物体中元素含量，研究有害元素和有益元素在土壤圈、水圈、生物圈中的迁移途径和分布分配特征。

6.3 城市生态系统

选择评价流域/区带内工业发达、污染严重或具有特殊生态地球化学问题的城市的大中型城市、城市群进行异常元素迁移途径和来源追踪。

6.3.1 样点布置

6.3.1.1 不同污染源降尘

调查城市工业、交通、建筑等分布状况，对废气排放量大、污染严重的工厂、建筑工地、道路交通等地布设冶金尘、燃煤尘、建筑尘和交通尘等样点。

6.3.1.2 面积性降尘和土壤

按照 1:50000 或 1:100000 采集密度，布置大气降尘和相应点位上的土壤样品采样点。

6.3.1.3 大气干湿沉降

在城市不同功能区，布置大气干湿沉降样品接受点，每个功能区布点不少于 10 件，空间上要求点位尽量均匀。接受降尘周期为一年，降尘和降雨量大的城市可调整至半年或一季回收一次样品。

样点布置及样品采集见附录 D。

6.3.1.4 大气降水

对于以燃煤为主要能源或存在酸雨沉降的城市，需布置一定量的降雨接受点。布点原则为：依据表层土壤 pH 值大小，同时兼顾城市不同功能区，如城市功能区不明显的城市，可在空间上均匀布点。

6.3.2 样品采集

6.3.2.1 不同污染源降尘

不同来源降尘采集的种类为燃煤尘(工业燃煤和民用燃煤)、建筑尘、汽车尾气尘、冶金尘、道路尘和飞灰。

飞灰可在冶炼炉内腔或烟囱附近采集，其他降尘采集技术要求见附录 D。

每类样品采集数量为 5 件~10 件，样品大于 100 g~200 g。汽车尾气尘可适当减少，但需满足分析要求。

6.3.2.2 面积性降尘和土壤

降尘样品采集见附录 D，样品采集高度为 1.5 m~2.0 m。土壤样品采集应与降尘相同点位，采样深度为 0 cm~20 cm，注意除去土壤表面明显的人为污染的物质，对土壤性质做好记录。

6.3.2.3 大气干湿沉降

同农业区大气干湿沉降样品采集方法，见附录 C。

6.3.2.4 大气降水

在接受点位上，分春、夏、秋、冬接受降水或降雪，当场测试 pH 值后，根据要测试的元素种类，添加保护剂，见 DD2005-03 生态地球化学评价样品分析技术要求（试行）。

6.3.3 样点分析

6.3.3.1 不同源降尘样品

a) 所有样品进行As、Al、Ca、Co、Cd、Cr、Hg、K、Mg、Mn、Ni、Na、Pb、Cu、Zn、S、Ti、F等元素分析； $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 分析；矿物物相和矿物粒径分析。

b) 采集量较大的污染物源样品可进行不同粒径分离，每种粒径样品进行As、Cd、Cr、Hg、Pb有害元素和 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 等项分析。

c) 对燃煤尘、冶金尘和化工企业排放的降尘进行多氯联苯、多环芳烃等有机污染物分析，分析种类根据评价城市实际情况确定。

6.3.3.2 降尘和土壤样品

a) 分析As、Cd、Cr、Cu、Pb、Hg、Ni、Zn含量。

b) 部分样品可进行 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 和多氯联苯、多环芳烃等有机污染物分析。

6.3.3.3 降水

降水或降雪进行pH值测定，对应点位上的土壤进行矿物物相分析，不同城市可根据具体情况，增测As、Cd、Cr、Cu、Pb、Hg、Ni、Zn等重金属和 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 、 NO_3^- 等阴离子。

所有样品分析元素及指标种类，可根据不同流域/区带和评价城市存在的具体问题进行增减。

6.3.4 结果分析

6.3.4.1 对不同来源降尘进行特征元素、铅同位素组成、粒径和物相分析，查明每类降尘的化学和物理特征；结合面积性的降尘分析结果，查明不同来源降尘的空间分布规律、主要污染元素种类及颗粒物粒径分布范围及对人体的可能影响等。

6.3.4.2 有条件的城市，可对研究区工业、交通、建筑、环保等主管单位进行实地调研，收集城市主要工矿企业废气年排放量、汽车尾气排放量（不同类型汽车年拥有量）、建筑扬尘量，北方地区还应向气象部门收集研究区扬尘情况。

通过不同类型污染物元素含量和排放量研究，查明研究区每类污染物对城市大气和土壤排放量及比例。

6.3.4.3 对比降尘和土壤中重金属含量分布特征，评价降尘对土壤重金属含量影响的程度。

6.3.4.4 通过不同季节降雨 pH 值测定和相同点位土壤的矿物相分析，研究引起土壤酸化

的可能原因，大气降雨 pH 值的变化与城市不同功能区分布关系及引起降雨 pH 值变化的主要因素。

6.4 湖泊湿地生态系统

湿地湖泊异常元素来源主要指通过河流输入、输出的元素和有机污染物，这些元素和有机污染物包含了自然来源和人为来源两部分。

6.4.1 样点布置

6.4.1.1 在湖泊湿地主要河流入口和出口处、工农业及生活废水排放入口处、河流内 500m~300 m 处及湿地湖泊内 100m~50 m 处各布置 1~2 个采样点。

6.4.1.2 每个样点包括悬浮物样品、水样品、底泥和沉积柱样品。

6.4.2 样品采集

6.4.2.1 水样、悬浮物和底泥样品分枯水期、丰水期和(或)平水期采集。

6.4.2.2 同点位采集水样、悬浮物样品、底泥样品和沉积柱样品，水样、悬浮物样品、底泥样品采样技术要求见附录 A，沉积物样品采集技术见附录 E。

6.4.3 样品分析

6.4.3.1 水样：分析元素 As、Cr、Cd、Cu、Hg、Pb、Zn、Ni 及 F，不同地区和不同水质样品，根据评价需要可增加营养元素 N、P、K 分析以及 As³⁺ 等元素不同价态和有机污染物（六六六、DDT 等）分析。

6.4.3.2 悬浮物、底泥和沉积柱样品：分析元素参见附录 A。

6.4.2.3 典型沉积柱样品进行 ²¹⁰Pb、¹³⁷Cs 年龄测定和多氯联苯、多环芳烃及有机氯农药等有机污染物分析。

6.4.2.4 分析元素和项目依据不同流域/区带的实际情况，可以进行增减。

6.4.4 结果整理

6.4.4.1 通过不同季节水体、悬浮物、底泥样品中元素含量分析，结合河流年平均流量，可以查明每条河流流入湿地湖泊中异常元素和有机污染物的输入量和输入途经。

6.4.4.2 结合河流上游地区岩石、土壤 1:200000 化探、1:250000 多目标地球化学调查数据，城市发展进程、工农业生产布局等资料，查明元素和有机污染物输入湿地湖泊年通量最大的地区(包括主要的土壤流失地区、岩石风化剥蚀地区)及其影响的主要因素。

6.4.4.3 通过典型沉积柱剖面的元素分析和同位素测年，查明近百年来湿地湖泊中元素和有机污染物年输入速率及变化趋势，结合研究区经济发展、城镇化进程、矿山开采冶炼等生

产活动，对元素和有机污染物累积趋势进行预警预测。

6.4.4.4 通过对湿地湖泊地区出水口各类样品分析，查明湿地湖泊元素和有机污染物的输出对下游河流污染的影响程度及其发展趋势，并对可能产生的危害提出预警。

6.5 浅海生态系统

6.5.1 大陆近源沉积物异常元素迁移途径及来源追踪

大陆近源成土母质、成土过程和各种表生地球化学作用对土壤及浅海沉积物元素异常分布的影响研究同 6.2.1。

6.5.2 大陆远源沉积物异常元素迁移途径及来源追踪

6.5.2.1 样点布置

6.5.2.1.1 沉积柱

- a) 在沿海主要的远程入海水系河口、港湾、邻近浅海布置工区。
- b) 在河口内河 1 km 处、河流入海口、河口向浅海方向 5 km 和 10 km 处布置沉积柱。
- c) 现代黄河三角洲沉积地区，按照不同年代沉积区进行沉积柱布置。
- d) 样点布置时，需考虑水文、洋流及沿岸水流强度和海底沉积条件等。属于剥蚀状态或水文环境严重威胁采样作业安全性时，可不部署沉积柱样点。

6.5.2.1.2 悬浮物

- a) 在沉积柱采样点处布置悬浮物采样点。
- b) 沿江(河)大中城市的上下游各布置一个采样点。

6.5.2.1.3 水样

与悬浮物同点位布置水样采集点。

6.5.2.2 样点采集

6.5.2.2.1 沉积柱

- a) 采样工具：静压沉积物柱采样器（KC Kajak Sediment Core Sampler）、底部顶芯器、专用切割器、样品盒、自封塑料袋等。
- b) GPS 定位、静压沉积物柱采样器垂直取样。柱状样长度控制在 100 cm~200 cm 左右，岩芯直径不小于 5 cm，且保证岩芯顶部以上有 5 cm~10 cm 水。
- c) 完整岩芯提出水面后，现场用底部顶芯器将岩芯从底部向上顶出，用专用切割器切割样品，样品切割密度为 0.5 cm~2.0 cm 间隔一个样（沉积速率快则取样间隔大，反之则取

样间隔小)。

d) 将分割好的样品直接放入样品盒或自封塑料袋中，做有机污染物分析的样品需冷冻。

e) 一个采样点应同时取 3 个沉积柱样。

f) 采样要求见附录 E。

6.5.2.2.2 悬浮物

悬浮物样品采集同 6.1.1，方法技术要求见附录 A。

6.5.2.2.3 水样

与悬浮物样品采集同时，采集过滤后的水体。水体需现场测试 pH 值和水温，依据测试元素和指标种类不同，添加相应的保护剂。方法技术要求见附录 A 和 DD2005-03 生态地球化学样品分析技术要求（试行）。

6.5.2.3 样品分析

6.5.2.3.1 悬浮物、水体、底泥和沉积柱样品，分析元素和指标种类见表 1。

6.5.2.3.2 典型悬浮物样品、沉积柱样品分析多环芳烃和多氯联苯等有机污染物，分析的种类依据研究区实际情况确定。

6.5.2.3.3 选择沉积物粒度较小的沉积柱样品测试²¹⁰Pb和/或¹³⁷Cs。

6.5.2.3.4 典型沉积柱进行有毒有害元素、元素存在形态和影响因素分析。

6.5.2.3.5 不同评价区分析的元素和指标，需根据不同河流污染物的种类和所存在的生态地球化学问题进行调整。

6.5.2.4 结果整理

6.5.2.4.1 收集所研究水系的年流量等水文资料、流域内污染源类型、分布和年排放量等环境监测资料，通过悬浮物、水体中元素含量分析，定量研究每年陆地向海洋输入沉积物和元素的速率及途径。

6.5.2.4.2 通过典型柱状样的元素含量分析、有机污染物分析和²¹⁰Pb和/或¹³⁷Cs定年，结合陆地工农业发展规模、城市化进程及人文特点，评估近百年来，陆源物质对浅海沉积环境的影响，探讨人为活动对浅海环境变迁的影响程度。

6.5.2.4.3 研究典型沉积柱中重金属元素和有机污染物局部层位富集现象，结合沉积物中污染物存在形式及影响因素研究结果，探讨沉积物中污染物向水体释放的可能性及机制，分析沉积物中重金属元素易悬浮和溶出而造成二次污染的机理，预测未来几十年有毒有害物质的净增量对浅海沉积环境质量的影响。对由于环境条件的改变而引起的有毒有害物质存在形

态的变化导致的环境生态质量下降，进行地球化学预测预警。

6.5.2.4.4 对比研究不同年代形成的黄河三角洲沉积物中有毒有害元素和物质的含量及种类变化，结合评价区社会经济发展、工农业生产结构及污染物排放特征等，研究不同时代人为活动对现代黄河三角洲沉积环境质量的影响。

7 生态系统异常元素及有机污染物生态效应评价

生态系统异常元素及有机污染物生态效应评价工作，以生态系统为单元进行。在农田生态系统中，主要评价污染程度、农作物适宜性、土壤质量等；在城市生态系统中，主要评价放射性污染程度、重金属及有机污染物生态效应和城市饮用水安全性等；在湖泊湿地生态系统中，主要评价水产品安全性及适宜性、水体富营养化程度；在浅海生态系统中，主要评价浅海水产品安全性、底栖贝类水产品的环境适宜性等。

7.1 农田生态系统

7.1.1 污染程度评价

7.1.1.1 样点布置

7.1.1.1.1 依据多目标地球化学调查结果或其他区域地球化学调查结果，充分考虑研究区不同的地质背景、土壤类型、景观特征、土地使用方式和重金属(包括 As)元素含量及土壤理化性质(pH 值、质地、CEC 等)差异，选择采集样品的工区。

工区布置可以分以下两种情况：

a) 以一定采样密度（1:50000 或 1:25000）和一定面积的工区为单元进行网格采样，工区选择需充分考虑土壤类型、重金属(包括类金属 As)含量范围、pH 值和 Corg 变化范围。该类型工区布置适合于成土物源单一的运积平原区。

b) 以土属为一个采样单元，选择若干工区。在一个采样单元内，样品采集点布置充分考虑重金属(包括 As)含量范围、pH 值范围和 Corg 含量等，每个采样单元样品数为 20 件～30 件。该类型工区布置适合于丘陵区 and 成土物源复杂的山前盆地。

7.1.1.1.2 对于 As、Cd、Hg、Pb、Zn、Cu、Cr、Ni 等元素含量分布空间差异较大(相互不重叠)的地区，可主要考虑超标严重的几种元素，如果各种元素超标彼此差异不大，酸性土壤重点考虑 Cd、Hg、Pb，碱性土壤重点考虑 As。

7.1.1.2 样品采集

7.1.1.2.1 样品采集种类

a) 在选定的工区内，采集大宗农作物籽实。南方以水稻为主（或油菜、玉米），北方以小麦为主（或玉米、大豆）。

b) 在农作物对应点位上，采集根系土。

c) 污染严重地区或已发现对动植物及人体产生危害的地区，可采集人发样。

7.1.1.2.2 样品采集方法

a) 小麦和水稻

(a) 选点及采样：首先了解整个田块面积、地形及生育状况。目测麦株密度、高矮、麦穗大小及成熟度等，并根据这些情况进行分类，把整齐度一致的麦株划为一类，然后分类选点取样。

(b) 通常在 5 亩以内，长势整齐的小麦和水稻田中，可采用对角线方法选取 4 个~5 个样点，四周样点要距地边 1 m 以上，个别样点如缺乏代表性应作适当调整，每个样点取 50 cm×(播幅+幅距) cm 样方一个。

b) 玉米

(a) 首先对所测地块的生长发育状况进行实地察看，选点时根据地块大小来确定样点数目，每点取代表性植株 10 株~20 株。

(b) 籽粒样品要在脱粒后，混匀铺平，用方格法和四分法缩分，取得约 250g 样品。颗粒大的籽实可取 500 g 左右。

(c) 油菜和大豆的采集同玉米。

(d) 样品采集、运输和脱粒过程中要防止污染。

(e) 农作物样品采集方法技术见附录 F。

c) 根系土

(a) 与农作物籽实采集相配套，同时采集相同点位的农作物根系土。

(b) 根系土采集困难时，采集同点位的 0~20 cm 表层土。

d) 人发样

(a) 人发样品要求取枕部 2 cm 处发样，样量为 2 g~5 g。

(b) 人发样先经 1% 的洗涤剂浸泡，再用蒸馏水冲洗干净，最后用蒸馏水清洗三次，于 60℃ 烘干，保存。

7.1.1.3 样品分析

7.1.1.3.1 农作物籽实无污染去壳，分析 As、Cr、Cd、Cu、Hg、Pb、Zn、Ni、F 等元素全量。少量样品可进行有机氯农药分析。

7.1.1.3.2 人体毛发样分析元素种类根据研究区农作物籽实中重金属超标情况确定。

7.1.1.3.3 根系土样品进行 As、Cr、Cd、Cu、Hg、Pb、Zn、Ni 等元素全量和离子交换态、碳酸盐态、弱有机结合态、铁锰氧化态、强有机结合态和残渣态分析，同时测定 pH 值、质地、CEC、Corg、容重等指标。少量样品进行有机氯农药分析。

7.1.1.3.4 不同地区可根据多目标地球化学调查结果和当地农药施用种类自行确定各类样品分析元素和有机污染物种类。

7.1.1.4 结果整理

7.1.1.4.1 网格采样工区

a) 以实际测定的籽实重金属含量数据，遵照国家绿色食品卫生标准和国家无公害食品卫生标准，进行农作物籽实污染程度等级划分，绘制污染程度地球化学图。

b) 籽实中重金属含量小于国家绿色食品卫生标准值的籽实为绿色食品；籽实中重金属含量大于国家无公害食品卫生标准值的籽实为不安全食品；籽实中重金属含量介于国家绿色食品卫生标准值和国家无公害食品卫生标准值之间的籽实为安全食品。

c) 以实测根系土中不同形态重金属含量为基础，绘制离子交换态、碳酸盐态、弱有机结合态、铁锰氧化态、强有机结合态地球化学图。

d) 以土壤重金属全量与不同形态含量和土壤不同物理化学性质数据为基础，建立土壤中重金属全量与不同形态、不同土壤理化性质的关系，利用多目标地球化学调查或类似的区域地球化学调查结果中的重金属全量数据，计算全区土壤不同形态重金属含量，绘制不同形态重金属含量地球化学图。

7.1.1.4.2 以土属为单元的采样工区

a) 计算富集系数

用农作物中重金属含量与对应根系土中重金属含量比值计算富集系数，研究农作物中重金属富集系数与土壤重金属总量、重金属不同形态的关系，对比分析土壤、大气、灌溉水及地下水中重金属含量对农作物生长的影响，探索制约农作物籽实中重金属含量的因素。

b) 建立关系方程

研究籽实重金属含量与土壤中重金属和土壤理化性质(pH 值、CEC、Corg、粘粒等)等含量的关系，注意能与重金属发生协同或拮抗作用的其他元素含量对重金属生物效应的影响。对土壤中重金属含量(包括不同形态的重金属含量)、土壤理化性质与农作物籽实中重金属含量相关性较好的土属，建立籽实中重金属含量与土壤相应元素全量、Corg、pH 值的关系方程；对土壤中重金属含量(包括不同形态的重金属含量)、土壤理化性质与农作物籽实

中重金属含量相关性不好的土属，进行不同污染次级的概率统计。

c) 估算籽实含量

利用多目标区域地球化学调查数据和上述建立的方程，估算每个点位上的农作物籽实(南方：水稻、油菜或小麦，北方：小麦、玉米或大豆)中重金属含量，并实地重新采集一定作物样本进行验证。

d) 土壤污染程度判别

将估算出的籽实中重金属含量与绿色食品卫生标准和无公害食品卫生标准值进行对比，籽实中重金属含量小于绿色食品卫生标准值的籽实为绿色食品、大于无公害食品卫生标准值的籽实为不安全食品，介于两者之间的为安全食品。

e) 建立不同土壤类型重金属不同形态与土壤 pH 值或 Corg 关系，利用基础调查数据估算重金属不同形态含量数值，最终绘制重金属不同形态含量的地球化学图。

7.1.1.4.3 依据土壤和籽实中有机污染物的含量和种类，对研究区有机污染进行研究。

7.1.1.4.4 对人发样品中重金属超标情况进行研究，对农业生态系统中重金属污染对人体健康的影响进行评价。

7.1.2 农作物适宜性评估

7.1.2.1 样点布置

7.1.2.1.1 选择污染较严重的土壤，进行样点布置。

7.1.2.1.2 选择 As、Cr、Cd、Cu、Hg、Pb、Zn、Ni、F 等元素复合污染严重的区域进行样品布置。酸性土壤重点考虑 Hg、Cd、Pb、F 元素，碱性土壤重点考虑 As、Hg、Pb、Cd、F 元素。

7.1.2.2 样品采集

7.1.2.2.1 农业部优势农产品区域布局规划中的农产品种类，是必采样品。如湖北、安徽、江苏(长江下游)弱筋小麦；四川、重庆、湖北、江西、安徽、上海和浙江的双低油菜。

7.1.2.2.2 农作物采集种类的选择还应兼顾当地名特优农产品。

7.1.2.2.3 每类农作物样品数需大于 10 件，所采集的农作物(包括粮食作物、经济作物、蔬菜、水果)样品种类为 5 种~10 种。

7.1.2.2.4 在样品布置点(如同一片地、一个生产组相邻田地)采集不同农作物，如小麦、水稻、玉米、土豆、红薯、豆角、白菜、油菜、萝卜、茄子等常见大宗农作物的可食部分。

7.1.2.2.5 在农作物样品采集的点位上，采集相对应的根系土。

7.1.2.3 样品分析

7.1.2.3.1 分析农产品可食部分 As、Cr、Cd、Cu、Hg、Pb、Zn、Ni、F 含量，少量样品进行有机污染物分析。

7.1.2.3.2 土壤样品进行 As、Cr、Cd、Cu、Hg、Pb、Zn、Ni 全量、水溶相和可交换相分析，测定 pH 值、质地、CEC、Corg、矿物物相等指标。

7.1.2.3.3 少量样品进行有机物污染分析。

7.1.2.3.4 不同地区可根据实际情况，确定分析元素和指标的种类。

7.1.2.4 结果整理

7.1.2.4.1 计算不同农作物可食部分的生物富集系数，计算公式为：

$$\text{生物富集系数} = \frac{C_b \text{生物体中的元素浓度(ppm)}}{C_c \text{根系土中的元素浓度(ppm)}} \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

依据各农作物生物富集系数的大小划分出低、中、高富集农作物。

7.1.2.4.2 根据不同农作物可食部位重金属的含量与绿色食品卫生标准和无公害食品卫生标准中重金属的规定值，对研究区农作物安全性进行评估。

7.1.2.4.3 统计研究同一类农作物可食部分的重金属含量与土壤中重金属的回归方程，根据土壤中重金属含量与农作物中重金属含量曲线特征确定重金属在农作物中的阈值。

7.1.2.4.4 研究农作物中重金属含量与土壤重金属含量、不同形态重金属含量、土壤理化性质 Corg、CEC、pH 值、质地、粘粒等)等的关系；研究控制重金属进入农作物的主要因素，依据不同农作物对重金属的富集系数、阈值和区域调查结果，就研究区农业结构调整、污染治理和生物修复提出建议。

7.1.3 土壤质量评价

7.1.3.1 样点布置

7.1.3.1.1 以土属或土种为采样单元。在一个采样单元里，依据 N、P、K、B、Mo、Mn、Cu、Zn (Ca、Mg、Se) 元素含量分布范围(丰富、适中和缺乏)进行样点布置；

7.1.3.1.2 在同一采样单元内，在土壤不同的 pH 值、Corg、CEC 和质地等土壤理化性质变化范围内布点；

7.1.3.1.3 在不同行政区布点，空间上样点应均匀分布。

7.1.3.2 样品采集

7.1.3.2.1 充分利用已有的单点调查样品，或补充采集样品。每个采样单元，采集表层（0~20 cm）土壤样品，样品数为 15 件~20 件。

7.1.3.2.2 实地调研内容包括：

- a) 调查研究区地下水潜水面深度(分枯水和丰水期);
- b) 南方地区平原区土壤潜育化和潜育化情况;
- c) 丘陵地区坡度、植被覆盖率、土地使用方式等;
- d) 水土和养分流失情况等;
- e) 土壤盐渍化程度等信息。

7.1.3.3 样品分析

7.1.3.3.1 对土壤进行 N、P、K、B、Mo、Mn、Cu、Zn、Fe、Si、Ca、Mg 等元素的全量和有效态分析(碱解氮、有效磷、速效钾、有效硼、有效钼、有效铜、有效锌、有效铁、交换性钙和镁、有效硅), 测试土壤 pH 值、CEC、粘粒、容重、Corg、质地等指标。

7.1.3.3.2 分析土壤 As、Cd、Cr、Cu、Hg、Pb、Ni、Zn 等元素全量和不同形态含量。

7.1.3.3.3 不同地区可根据土壤植物有益元素含量实际供给情况, 增减元素分析的种类。

7.1.3.4 结果整理

7.1.3.4.1 单指标等级划分

依据农业部或其他部委颁布的土壤植物营养元素分级指标, 参考研究地区实际情况, 对土壤地球化学质量进行单指标划分和评价。

7.1.3.4.2 综合指标等级划分

不同地区可根据研究区实际情况, 选用不同的参评因子。

原则上参评因子选择如下:

a) 平原区: pH 值、CEC、N、P、K、B、Mo、Mn、Cu、Zn、Corg、粘粒、容重、地下水位和土地利用方式等。

b) 山区或丘陵区: pH 值、CEC、N、P、K、B、Mo、Mn、Cu、Zn、Corg、粘粒、容重、坡度、坡向和土地利用方式等。

综合评价方法可选择灰关联分析法、模糊决策法、宽域法等。

7.1.3.4.3 土壤质量综合评价

在对研究区进行重金属生态效应评价的基础上, 将重金属污染程度评价有污染地区定为土壤质量最差区域; 对重金属无污染的地区, 用植物营养元素和物理性质进行综合指标等级划分, 最终给出研究区土壤质量评价图。

7.2 城市生态系统

7.2.1 城市放射性危害程度评价

7.2.1.1 样点布置

依据多目标地球化学调查或类似的区域地球化学调查结果，选择表层土壤 U、Th 等放射性元素高异常的城市开展放射性污染程度评价。在异常区进行 1:10000~1:250000 密度的土壤样品采集点，或布置几条穿越放射性元素高异常区的水平剖面，采样密度 1 个样/20 m~40 m。

7.2.1.2 样品采集

7.2.1.2.1 土壤样品采集深度为 0 ~20 cm，样品重量为 1 kg。

7.2.1.2.2 采集土壤样品，注意不要采集外来土或回填土。

7.2.1.2.3 土壤采集点位处，现场实测 1m 高 γ 辐射空气吸收剂量率。按 GB/T14583-93 环境地表 γ 辐射剂量率测定规范执行。

7.2.1.3 样品分析

土壤样品分析 U、Th 和 K 含量。

7.2.1.4 结果整理

将土壤样品 U、Th、Ra 和 K 含量与相同点位上现场实测的 1m 高 γ 辐射空气吸收剂量率进行统计，校正土壤 U、Th、Ra 和 K 含量与 1m 高 γ 辐射空气吸收剂量率之间的系数。

7.2.1.4.1 计算“比活度~剂量率”转换系数

土壤中 U、Th 和 K 含量与 1 米高 γ 辐射空气吸收剂量率关系方程为：

$$D = (0.43C_K + 4.27 C_U + 6.62 C_{Th}) \times 10^{-10} \text{ (Gy} \cdot \text{h}^{-1}) \dots\dots\dots(5)$$

式中：

C_K ——土壤中⁴⁰K的比活度，单位为Bq·kg⁻¹；

C_U ——土壤中²³⁸U的比活度，单位为Bq·kg⁻¹；

C_{Th} ——土壤中²³²Th的比活度，单位为Bq·kg⁻¹。

计算中，平均含水率按 10 %计算。这里假设土壤中天然放射性物质分布均匀，²³⁸U与²³²Th及其子体衰变链达到平衡，土壤密度为 1.6 g/cm³（湿重）。由于测量土壤中比活度时用的是烘干后的土壤，基于我国处于温带，所以在应用公式时，比活度乘以 0.9。

通过“蒙卡”计算结果可以给出“比活度~剂量率”转换系数(nGy·h⁻¹/Bq·kg⁻¹) (剂量转换

因子), 从而计算出评价地区的天然 γ 辐射剂量率。

7.2.1.4.2 计算有效剂量当量

环境 γ 辐射照射对居民产生的有效剂量当量用下式进行估算:

$$H_e = D_\gamma \cdot K \cdot t \cdots \cdots \cdots (6)$$

式中:

H_e ——有效剂量当量, 单位为 Sv ;

D_γ ——环境地表 γ 辐射空气吸收剂量率, 单位为 $Gy \cdot h^{-1}$;

K ——有效剂量当量率与空气吸收剂量率比值, 本技术要求采用 $0.7 Sv \cdot Gy^{-1}$;

t ——环境中停留时间, 单位为 h 。

7.2.1.4.3 辐射污染程度评价

利用上述建立的方程和区域地球化学调查 U 、 Th 、 K 数据进行 1 米高 γ 辐射空气吸收剂量率和居民所受辐射的有效剂量当量计算, 参考我国和研究区已知的 1 米高 γ 辐射空气吸收剂量率数据, 对辐射污染进行评价。

7.2.2 城市土壤重金属及有机污染物生态效应评价

7.2.2.1 样点布置

按照 1:250000~1:50000 的采样密度或按照城市不同功能区进行土壤样品布置, 样品点位尽量同 6.3。

7.2.2.2 样品采集

7.2.2.2.1 采集 0~20 cm 的土壤样品, 不要采集外来土或回填土, 除去人为污染物质, 对土壤性质做好记录。

7.2.2.2.2 采集样品重量为 1 kg。

7.2.2.3 样品分析

分析 As 、 Cd 、 Cr 、 Cu 、 Hg 、 Ni 、 Pb 、 Zn 、 F 、 Se 元素及有机污染物含量, 不同城市可根据实际情况, 增测其它元素和指标。

7.2.2.4 结果整理

研究土壤中 As 、 Cd 、 Cr 、 Cu 、 Hg 、 Ni 、 Pb 、 Zn 、 F 、 Se 含量范围和空间变化规律, 以深层土壤、城市周边土壤中相应元素含量及人体接触产生危害为依据, 对城市表层土壤元素污染程度进行评价。研究有机污染物种类、空间分布特征及对人体可能产生的危害, 对城市土壤有机污染物污染程度进行评价, 并提出治理建议。

7.2.3 城市饮用水安全性评价

7.2.3.1 样点布置

7.2.3.1.1 地下饮用水安全性评价

- a) 依据区域水地球化学调查结果和评价区地下水水文地质、地球化学特征，进行样点布置。
- b) 在相同污染程度的地区，选择人口密度大的区域进行评价。
- c) 兼顾不同的行政区划和地下水径流方向。

7.2.3.1.2 地表饮用水安全性评价

- a) 依据区域水地球化学调查结果，在研究区选择有代表性的饮用水集中水域(水库或池塘)。
- b) 兼顾水域汇水区表层土壤重金属污染程度、重金属污染种类和特殊污染源分布区。

7.2.3.2 样品采集

7.2.3.2.1 地下饮用水安全性评价

- a) 水样采集、运输方法技术按照 DD2005-01 多目标区域地球化学调查规范(1:250000)和 DD2005-03 生态地球化学评价样品分析技术要求（试行）执行。根据分析元素不同，添加不同保护剂，用不同的容器进行盛装。
- b) 采样密度一般为 1 个样/1 km²，污染严重的地区和饮用水集中供应地可加密至 4 个~5 个样/1 km²或按照实际水井密度采集。
- c) 采集水样现场，先测定水的 pH 值和水温，之后添加保护剂。水样采集时间应为平水期，设置 10%的点位进行丰水期、枯水期采样，以便和平水期测试结果对比研究，水样采集条件要一致。
- d) 沿着地下水流动方向布置平行剖面，根据剖面长度调整采样密度，一般一条剖面为 10 个~20 个采样点。

7.2.3.2.2 地表饮用水安全性评价

- a) 水、底泥、悬浮物和水产品采集
 - (a) 在所选择水库和池塘的入水口、出水口及水域中央进行底泥、水样和悬浮物样品采集。
 - (b) 水样当场测试 pH 值和水温。
 - (c) 有水产品养殖的水库和池塘，在采样点周围采集水生动植物产品。如藻类、虾、

螺类、螃蟹、贝类、草鱼、黑鱼和其他鱼类的幼鱼，以及以小鱼、小虾为食的大鱼(采集水产品的种类以研究水域实际情况调整)。

(d) 每类样品数量为 5 件~10 件。

(e) 各类样品采集的方法技术，按照 DD2005-03 生态地球化学评价样品分析技术要求（试行）、DD2005-01 多目标区域地球化学调查规范（1:250000）和本技术要求相应的附录执行。

b) 水域底积柱样品采集

(a) 在确证水域底泥近几十年没有清淤的前提下，剖面位置应从汇水口开始部署，小于 50km²的湖泊采样点为 1 个~2 个，大于 50 km²的湖泊采样点为 4 个。每个样点由 3 个柱子组成。

(b) 采用专用柱状重锤式重力采样器，用 GPS 定位，柱长为 50 cm~100 cm，岩芯顶部以上有 5 cm~10 cm 的湖水(水库水)。

(c) 样品切割按照 0.5 cm~1 cm 间隔，将分割好的样品直接放入样品盒或密封塑料袋中，速冻。

7.2.3.3 样品分析

7.2.3.3.1 地下饮用水安全性评价

a) 根据区域水地球化学基础调查结果和污染物种类，确定分析项目种类。

b) 地下水选测元素和指标：As³⁺、Se、Hg、Pb、Cd、Cr⁶⁺、硝酸盐(以氮计)、氯仿、四氯化碳、苯并(a)芘、滴滴涕、六六六、细菌总数等。其中氯仿、四氯化碳、苯并(a)芘、滴滴涕、六六六等先用 10% 的样品进行抽测，然后再确定分析种类。

c) 在有地方病发病地区，根据地方病种类增测表 2 中相应项目，实地调查居民的发病情况、饮食习惯等。

表 2 不同地方病流行地区工作布置参照表

| 地方病类型 | 调查介质 | 分析项目 | 备注 |
|---------|-------|----------------------------|---|
| 地方性甲状腺肿 | 饮水 | I、F、Ca、Mg、Mn、有机质、亚硝酸盐、细菌指数 | 调查当地居民食物特征，查明蔬菜、食盐、海产品等对地方性甲状腺肿的干扰。找出引起该病的双阈值，提出治理建议。 |
| 地方性氟病 | 饮水和食物 | F | 调查研究区地方性氟病、龋齿和居民饮水、食物中 F 含量的关系，提出相应的治理建议。 |
| 地方性砷中毒 | 饮水 | As ³⁺ | |

| | | | |
|-----|---|---|---|
| 伽师病 | 水 | SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Sr^{2+} 、 Mn^{2+} 、 Zn^{2+} | 调查发病区土壤和粮食中 Mn、Zn 含量，以及居民慢性腹泻、低血钾、不孕症、肝肿大等病症情况，查明饮水矿化度增加的原因，提出治理建议。 |
|-----|---|---|---|

7.2.3.3.2 地表水安全性评价

a) 水、底泥、悬浮物和水产品

(a) 水、底泥、悬浮物和水产品分析项目：As、Cd、Hg、Pb、Cr、Cu、Zn、Ni，水加测 pH 值、COD，少量样品进行有机物污染物分析。

(2) 10%的样品先进行有机物定性分析，根据分析结果确定进一步分析的有机物种类和样品数量。

(3) 底泥和悬浮物样品增加矿物物相分析和质地分析。

(4) 水样增测 N、P、K、COD。

b) 底泥柱状样分析： ^{210}Pb 、 ^{137}Cs 、As、Cd、Cr、Cu、Hg、Zn、F、I、N、P、K、B、Mo、Se和有机物(有机物种类根据实际情况调整)。

7.2.3.4 结果整理

7.2.3.4.1 地下饮用水安全性评价

a) 查明水中污染物分布与土壤、大气中污染物种类和分布特征，以及城镇生活污染源、工业废水排放、农业退水等存在的空间对应关系和成因联系，结合剖面样品分析结果，进一步追溯地下水中污染物来源和迁移途径，以及在流动过程中的自净能力及控制因素。

b) 按照《生活饮用水卫生标准》(GB 5749-1985)和《地下水质量标准》(GB/T 14848-1993)中的各项规定值与研究区实测值进行对比，对居民饮用水的安全性进行评价，对污染严重的地下水水质改善提出治理建议。

c) 研究水中F、I、 As^{3+} 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Sr^{2+} 、 Mn^{2+} 、 Zn^{2+} 、Corg、亚硝酸盐、细菌总数等元素和指标特征与各种地方病的关系，提出致病的可能原因和防治建议。

7.2.3.4.2 地表水安全性评价

a) 研究水产品中有害重金属和有机污染物含量，依据水产品食品卫生标准进行污染程度评价，依据水生生态系统中食物链的能量流动方向，研究重金属及有机物的逐级富集传递规律，计算富集系数。

b) 计算重金属在不同相态(液相—水，固相—底泥和悬浮物，生物相—各类水产品)中的含量比值，研究制约有毒有害物质分布分配的因素(如温度、pH 值、COD 等)，结合重金属安全性评价结果和富集系数对水产品结构调整和污染防治提出建议。

c) 采用磷负荷判断法或参数法对研究水域富营养化程度进行评价,结合汇水区土壤—水体氮磷含量及迁移规律研究,提出治理建议。

d) 通过单个切割样的同位素测年、重金属和有机污染物含量分析,计算研究水域重金属和有机污染物的沉积速率,重建过去近百年来土壤污染的地球化学历史,结合现实含量测定,预测未来的变化趋势。

7.3 湖泊湿地生态系统

7.3.1 水产品污染程度及适宜性评价

7.3.1.1 样点布置

7.3.1.1.1 大于 100 km², 且存在重金属或有机物污染的湖泊。

a) 对于水深分带明显的湖泊,按照沿岸带、敞水带和深水带生物群落分别采集,每个地带采集的水生生物数量 3 套~5 套。

b) 水深分带不明显的湖泊,按照不同水域或不同水产品养殖类型进行样品采集,一般样品数量 10 套~15 套。

7.3.1.1.2 小于 100 km²面积的湖泊,且生物群落分带不明显的湖泊,采集的水生生物数量 5 套~8 套。

7.3.1.2 样品采集

7.3.1.2.1 采集样品时要按照水产品采集的野外要求执行,作好采集时间、地点、水产品个体重量,以及水质条件等各项记录。

7.3.1.2.2 生物样采集种类

a) 选择产量大、居民购买量大的生物样。

b) 根据水产品在水生生态系统营养级中的不同位置,分别采集水生植物(藻类),虾、螺类、螃蟹、贝类、草鱼、黑鱼和其它鱼类的幼鱼和大鱼(向渔民实地调查,杂食性鱼类食性特征并做好记录)。

7.3.1.2.3 以人工养殖为主的湖泊、水库,除采集水产品外,还应采集饲料。

7.3.1.2.4 与生物样相对应采集水体和悬浮物样品。

7.3.1.2.5 水体样品采集时,根据分析元素不同添加保护剂。见 DD2005-03 生态地球化学样品分析技术要求(试行)。

7.3.1.2.6 水生生物的分割、保存和运输等见附录 F。

7.3.1.2.7 水体悬浮物的采集应先测定水的温度、pH 值等。采集方法技术要求见附录 A。

7.3.1.3 样品分析

7.3.1.3.1 分析元素为 As、Cd、Cr、Cu、Hg、Pb、Ni、Zn、F，少量样品进行有机物分析。

7.3.1.3.2 在土壤和水体中汞污染比较严重，且 pH 值和 Eh 值均较低的地区，可考虑进行顶级生物体内甲基汞的测定。

7.3.1.4 结果整理

7.3.1.4.1 研究不同水产品中重金属和有机污染物的含量，依据食品卫生标准进行水产品的安全性评估。

7.3.1.4.2 依据水生生态系统中食物链(食物网)中能量流动方向，研究重金属和有机污染物逐级富集传递规律，计算富集系数。

7.3.1.4.3 计算重金属在不同相态(液相—水，固相—底泥和悬浮物，生物相—各类水产品)中的含量比值，研究影响元素分配的制约因素(如温度、pH 值、COD 等)，结合重金属安全性评估结果和富集系数为水产品结构调整和污染的防治提出建议。

7.3.2 富营养化程度评价

7.3.2.1 样点布置

同 7.3.1。

7.3.2.2 样品采集

同 7.3.1 水体采集。

7.3.2.3 样品分析

7.3.2.3.1 分析水体中无机氮、总磷含量。

7.3.2.3.2 调查研究(收集资料)水体磷的面积负荷率、磷的输入与输出量和水体的年排放量等指标。

7.3.2.4 结果整理

7.3.2.4.1 磷负荷判断法

该方法适用于过水湖泊或水库，其计算式为：

$$C_p = L_0(1 - R) / Z \cdot \rho \dots\dots\dots(7)$$

式中：

C_p——湖泊稳态时的磷浓度，单位为g/m³；

L_0 ——磷的面积负荷率, $\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$;

Z ——湖泊平均水深, 单位为 m ;

R ——磷的输出量与输入量之比;

P ——溢流率, 为年排放量/湖泊总量的比值, 单位为 $1/\text{a}$ 。

7.3.2.4.2 按已知标准判断

表 3 水体富营养化程度划分表

| 富营养程度 | 总磷/ $(\text{mg}\cdot\text{m}^{-3})$ | 无机氮/ $(\text{mg}\cdot\text{m}^{-3})$ |
|-------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 极贫 | <5 | <200 |
| 贫—中 | $5\sim10$ | $200\sim400$ |
| 中 | $10\sim30$ | $300\sim650$ |
| 中—富 | $30\sim100$ | $300\sim1500$ |
| 富 | >100 | >1500 |

a) 该法适用于水体中磷循环缓慢的稳定水体, 可参考表 3 进行水体富营养化程度评价。

b) 评价水体富营养化程度时, 以总磷判断为主。

7.4 浅海生态系统

7.4.1 浅海生态效应评价

7.4.1.1 样点布置

7.4.1.1.1 在多目标地球化学调查或区域地球化学调查基础上, 在重金属和有机污染物污染地段布置样点。

7.4.1.1.2 在规模化滩涂与浅海养殖区、重要水系流域的入海河口、海湾区, 可适当加密布点。

7.4.1.1.3 兼顾河口、滩涂与浅海沉积物重金属污染程度不同的地域, 在近年海洋环境监测发现污染较重的地域适当加密布点。

7.4.1.2 样品采集

7.4.1.2.1 每个样点系统采集海水、水中悬浮物、水体生物、沉积物样品。采样方法技术见附录 A、附录 E 和附录 F。

7.4.1.2.2 海水现场实测 pH 值和水温。

7.4.1.3 样品分析

7.4.1.3.1 所有样品分析 As、Cd、Hg、Pb、Cu、Cr、F、Se、Zn 等元素。

7.4.1.3.2 典型样品分析多氯联苯等有机污染物含量。

7.4.1.4 结果分析

7.4.1.4.1 研究不同水产品中重金属和有机污染物的含量，遵照 GB18421-2001 海洋生物质量标准进行水产品的安全性评价。

7.4.1.4.2 依据水生生态系统中食物链构成，研究重金属逐级富集传递规律，计算生物富集系数。查清污染物的生物累积和放大规律，评价顶级生物（即食用水产品）中污染物超标（超过食品卫生标准）情况，为浅海环境质量评价提供依据。

7.4.1.4.3 计算重金属在不同相态(固相—水，底泥—悬浮物，生物相—各类水产品)中的含量比值，研究近海底部水-沉积物之间发生的交换作用和影响元素分配的制约因素（如温度、pH 值等），结合重金属安全性评估结果和富集系数为水产品结构调整和污染的防治提出建议。

7.4.2 底栖贝类水产品环境适宜性

7.4.2.1 样点布置

样点布置同 7.4.1。

7.4.2.2 样品采集

7.4.2.2.1 水产品

a) 每个采样站位采集不同种类水产生物，如牡蛎、蛭、蛤、蚶、紫菜、海带、扇贝、鲍鱼、花蛤、文蛤等水产养殖品的可食部位。

b) 在河口区，应从河口到浅海 10 m 水深处随水深和离岸距离的变化连续采样。

c) 一个研究地区采集的水产品种类控制在 5 类~10 类，每类水产品数量为 5 种~10 种。

d) 水产品采集技术见附录 F。

7.4.2.2.2 水样、悬浮物和底泥

a) 同样点采集水体、悬浮物和底泥样品。水体现场测试 pH 值、水温。

b) 水体、悬浮物和底泥采样技术见附录 A、附录 E。

7.4.2.3 样品分析

7.4.2.3.1 各类样品分析 As、Cd、Hg、Pb、Cu、Cr、F、Se、Zn 等元素。

7.4.2.3.2 典型样品分析多氯联苯等有机污染物含量。

7.4.2.4 结果整理

7.4.2.4.1 计算不同水产品可食部位的生物富集系数，依据各水产品中生物富集系数的大小，找出对不同重金属敏感性不同的水产品；

7.4.2.4.2 根据不同水产品可食部位重金属的含量与食品卫生标准中重金属的规定值对比，对研究区水产品安全性进行评估；

7.4.2.4.3 研究水产品中重金属含量与水体或沉积物中重金属含量、不同形态重金属含量、沉积物类型、水体质量、陆地物质输入等之间的关系，探讨生物对各介质中痕量元素的富集规律，研究控制重金属进入水产品的主要因素；依据不同水产品重金属的富集系数、阈值，根据区域多目标地球化学调查资料，对研究区滩涂和浅海水产养殖业结构调整、污染治理提出建议。

8 生态系统安全性的地球化学预警预测

生态系统安全性的地球化学预警预测，既包括对生态系统中异常元素总量累积趋势的预测，也包括由于环境因素改变，生态系统中异常元素地球化学性质发生突变的预警。

8.1 河流生态系统

8.1.1 样点布置

同 6.1。

8.1.2 样品采集

同 6.1。

8.1.3 样品分析

同 6.1。

8.1.4 结果整理

8.1.4.1 根据河漫滩同位素测年和事件定年结果，计算过去 100 年以来河漫滩平均沉积速率；根据沉积速率重建 100 年来重金属/有机污染物的变化历史。

8.1.4.2 收集汇水流域内耕地变更、种植结构、工农业布局、人口数量、经济发展速度等资料，建立河漫滩沉积物中重金属元素/有机污染物随上述各种因素变化的经济—地球化学模型。

8.1.4.3 根据当地土地规划图、工农业结构调整方向及国民经济发展速率，分析未来 10

年~50 年重金属/有机污染物的演变趋势，并对可能出现的生态效应进行预测预警。

8.1.4.4 运用土壤 pH 值、CEC、质地等与重金属/有机污染物活化迁移的相关知识，研究控制重金属/有机污染物活化迁移的条件和临界点。

8.1.4.5 收集当地能源消耗的数据、酸雨沉降等资料，建立土壤性质的单因素和多因素变化与土壤中重金属/有机污染物富集累积和活化迁移的环境—地球化学模型；进行重金属/有机污染物活化迁移演变趋势研究，并对可能出现的生态效应进行预测预警。

8.2 农田生态系统

8.2.1 样点布置

8.2.1.1 大气干湿沉降、化肥和灌溉水样品布置同 6.2.2。

8.2.1.2 农作物样品

8.2.1.2.1 实地调查研究区农田农产品种植类型，选择当地有代表性的种植面积大的粮食作物、经济作物、蔬菜和水果等。

8.2.1.2.2 一般情况下，南方以水稻为主(或油菜、玉米)，北方以小麦为主(或玉米、大豆)。

8.2.1.2.3 采样点布置同 7.1.1。

8.2.1.3 农田退水

实地调查有农业退水的农田，布置一定的农田退水采样点，样品数控制在 20~30 件。

8.2.2 样品采集

8.2.2.1 种植一季的农田，采集一季作物，种植二季或二季以上的农田，要采集每亩地全年种植的农产品。

8.2.2.2 实地调研农作物收割情况，对于不离农田的部分(如根)可以不采集，采集样品时需进行不同部位(籽实和其他部位)分割、称重和测产等，见附录 B。

8.2.2.3 土壤溶液的采样方法

8.2.2.3.1 在作物生长的灌浆期或孕穗期，与农作物采集相同点位采集土壤溶液。

8.2.2.3.2 记录样品采集日期前 7 天当地降雨情况，大雨过后和灌溉水后不要采样。

8.2.2.3.3 采集的土壤溶液应在 50 mL~100 mL 左右，抽气减压的压力为 0.04 MPa~0.08 MPa，多孔陶土头埋藏深度为 30 cm~50 cm，如潜水面较高时，应适当减少埋藏深度。

8.2.2.3.4 在北方干旱~半干旱地区，如土壤湿度>20%时，也可采集土壤溶液。如土壤湿度<20%时，土壤溶液不易采集，可直接用形态分析中的离子交换态（含水溶态）来代替土壤溶液中的物质组分或通过室内静止获取土壤溶液。

8.2.2.3.5 土壤溶液采集方法技术要求见附录 G。

8.2.2.4 与农作物同点位采集根系土，样重为 1 kg。

8.2.2.5 化肥、干湿沉降和灌溉水样品采集同 6.2.2。

8.2.3 样品分析

8.2.3.1 农作物样品分析 As、Cr、Cd、Cu、Hg、Pb、Zn、Ni、F、Se。不同地区可根据实际情况增测 N、P、K 和有机污染物等。

8.2.3.2 土壤溶液分析 As、Cd、Cr、Cu、Ni、Hg、Pb、Zn、F、Al、Ca、Mg、Na、N、P、K、pH 值、B、Fe、Mn、Mo、Si、Se 等。

8.2.3.3 根系土样品分析 As、Cr、Cd、Cu、Hg、Pb、Zn、Ni、Se 不同形态和 pH 值、Corg、质地等。

8.2.3.4 化肥、干湿沉降、灌溉水分析 As、Cr、Cd、Cu、Hg、Pb、Zn、Ni、F，灌溉水当场测试 pH 值和水温。

8.2.3.5 不同流域一区带可根据实际情况，自行调整分析测试的元素和指标种类。

8.2.4 结果整理

8.2.4.1 计算单位面积土壤中重金属的年输入净增量，预测研究区 10 年、20 年~100 年后土壤中重金属含量；以土壤中重金属容量值为界，分别计算污染年限，进行土壤重金属污染趋势的预警研究。

8.2.4.2 统计研究重金属的不同形态(重点为水溶态和可交换态)与土壤理化性质的关系，结合农作物籽实中重金属含量与不同形态含量的关系。在假定土壤中重金属总量不变的前提下，改变土壤理化性质(主要为 pH 值)，预测重金属生物富集系数的变化趋势、重金属在不同形态中含量变化趋势及其对农业生态系统造成危害的程度。

8.2.4.3 以土壤溶液中有害物质的含量为横坐标，土壤中有害物质的吸附量(在我国南方和东北松辽平原，吸附量可以用离子交换态+碳酸盐结合态+弱有机结合态的总和来表示；在我国华北等干旱、半干旱地区（不含沿海），吸附量可以用离子交换态+碳酸盐结合态+弱有机结合态+铁锰氧化物结合态的总和来表示)为纵坐标作图，当吸附量趋于恒定时，可以获得土壤吸附有害物质的最大吸附容量(阈值)。

通过系统对比研究土壤中有害物质吸附容量(土壤中污染物吸附量与土壤溶液中污染物含量比值)与最大吸附容量的差值，对研究区农产品、地表水、地下水的的天性进行预警。

8.3 湖泊湿地生态系统

8.3.1 样点布置

8.3.1.1 所选择湖泊应具有代表性。

8.3.1.2 选择的湖泊尽量与生态效应评价和富营养化评价的湖泊一致。

8.3.1.3 应选择在开阔湖面中心位置（湖泊面积一般 $>2\text{ km}^2$ ），且相对封闭的沉积环境，以保证湖底沉积物没有被人为或生物等外部因素强烈扰动过，避开水草丛生地区。

8.3.2 样品采集

8.3.2.1 湖底柱状样采集方法技术要求见附录 E。

8.3.2.2 在采集底积柱样品的同时，需采集相同点位上的悬浮物、湖水样和水生生物样品，采样方法技术见附录 A 和附录 E。

8.3.3 样品分析

8.3.3.1 同位素年龄

采用 ^{210}Pb 和/或 ^{137}Cs 测定沉积物年龄。

8.3.3.2 元素含量

8.3.3.2.1 分析 As、Cd、Cr、Cu、Pb、Hg、Ni、Zn、N、P、K、B、Mo、Se，不同地区可根据实际情况增测元素种类。

8.3.3.2.2 水体样品测试 pH 值、COD 和水温。

8.3.3.2.3 柱状样和底泥增测质地和矿物物相。

8.3.3.3 有机污染物测定

不同流域/区带可进行有机污染物分析，分析的有机污染物种类根据研究区实际情况确定。

8.3.4 结果整理

8.3.4.1 根据单个切割样的同位素、重金属、有机污染物的测试数据，可以计算重金属、有机污染物的年沉积速率，恢复过去 100 年来土壤污染的地球化学历史，并以此为基础预测未来的变化趋势。

8.3.4.2 对单个湖泊而言，其控制的汇水流域面积是一定的。对于一个底面积一定的湖泊，通过底积物的年沉积速率和底积物中化学污染物质的含量，就可计算出地表径流中化学污染物质的年输出速率和年输出量，结合汇水流域工农业发展规模和社会经济结构，进行湖泊生态系统对污染物吸附—解析平衡研究和环境质量变化趋势的预警。

9 报告编写

生态地球化学评价报告包括系列图件、文字报告和数据库。

9.1 图件

图件主要为实际材料图、地球化学图和生态地球化学评价图。

9.1.1 实际材料图

各类介质采样点位图、组合样点位图及其它实际材料图。

9.1.2 地球化学图

评价元素、指标和有机污染物的地球化学图件。

9.1.3 生态地球化学评价图

有毒有害元素及有机污染物污染程度图、有益元素总量及有效量评价图、土壤(土地)质量评价图、城市土地利用规划建议图、城市及农田区土壤安全区划图、农作物适宜性种植建议图、生态系统安全性评价预警图等。

9.2 报告

区域生态地球化学评价工作结束后，应编写区域生态地球化学评价报告，编写提纲见附录 J。

9.3 数据库

采用区域地球化学数据库信息系统 (GeoMDIS)，建立基础资料数据库和统计与评价数据库。

9.3.1 基础资料数据库

基础资料数据库包括：调查资料子库、分析数据子库和图形子库。

9.3.1.1 调查资料子库

包括各类定点的 GPS 坐标数据、各类采样记录、各类调查查证记录、剖面记录、数字拍照资料、摄像资料、野外素描等。

9.3.1.2 分析数据子库

包括土壤、水体、生物样品、悬浮物、底泥及各类污染源样品的分析数据。

9.3.1.3 图形子库

包括地理地貌、地质矿产、水文地质、土壤分布、第四纪地质、土地利用以及农业区

划和区域经济发展规划等。

9.3.2 评价数据子库

农产品污染程度评价参数统计、土壤污染程度评价参数统计、土壤有益元素等级划分参数统计和土地质量评价参数统计等。

附录 A
(规范性附录)
河流悬浮物、水、水系沉积物样品布置及采集方法

A.1 采样时间

枯水期采样时间为当年 11 月～次年的 1 月，丰水期采样时间为 6 月～9 月。

A.2 采样设备

悬浮物采样设备包括：真空泵、漏斗、无污染尼龙膜、全玻璃微孔滤膜过滤器、吸滤瓶等。

A.3 采样点布设

A.3.1 主干河流和主要支流水系均应布置采样点。

A.3.2 各支流应在上、中、下游分别布置采样点，汇入主干河流后在下方位置布置采样点；每个点控制面积一般不超过 5000 km²。

A.3.3 主干河流和主要支流采样间距一般为 50 km～80 km。采样点位应兼顾河漫滩柱状样布设位置。

A.3.4 枯水期同点位采集悬浮物、水系沉积物；丰水期只采集悬浮物样品；各支流汇入主干河流前的采样点（一般为下游采样点），在采集悬浮物样品时，加采过滤后的清水样品(水地球化学样品)。

A.3.5 流经中等以上城市河流需在该城市上游和下游分别布置采样点。

A.4 采样方法

A.4.1 悬浮物样品

A.4.1.1 采样点应选择在河流开阔、水流平稳处。

A.4.1.2 采水容器需用欲采集的水样清洗三次。

A.4.1.3 每个采样点在过滤悬浮物前，测试水体 pH 值和水温。

A.4.1.4 悬浮物采样位置为河流中洪线上，在距水面以下 30cm、水体中上部位处采集水样，不搅动和参入水底沉积物。

A.4.1.5 对采集的水样过滤后提取悬浮物，每次采集水样体积为 10L。如悬浮物样品重量不足，应以 10L 水体积倍增，直到悬浮物样品重量满足要求。采样前应结合预采水体含悬浮物量的多少进行试验，以估计可能采集的水体体积。采集过程中，要保证不受船体污染，避开冲洗取样工具造成的污染，避开采集表面漂浮物质。

A.4.1.6 滤膜在使用前，需在室内事前烘干、称重、记录重量。滤膜应采用对折线法，轻轻对折后放于事先已恒重的称量瓶里，移入烘箱中于 65℃（±2℃）烘干半小时后取出置干燥器内冷却至室温，称其重量。反复烘干、冷却、称量，直至两次称量的重量差≤0.5mg。将滤膜进行编号，记录每张滤膜重

量。

A.4.1.7 将已恒重的滤膜，用蒸馏水清洗干净并润湿后，平铺于布氏漏斗或全玻璃微孔滤膜器中，并检查整个抽滤系统密封情况后备用。

A.4.1.8 水样采集后，除去漂浮或浸没的树枝、枯叶等杂质后，用布氏漏斗或全玻璃微孔滤膜器中减压抽气对水样进行过滤，提取悬浮物。过滤过程中，每次取水时，需将水样充分摇匀，避免容器底部有悬浮物沉积。提取悬浮物工作场所要保持干净，并保持相对封闭，严禁在提取场所抽烟或引起粉尘的活动。

A.4.1.9 过滤完成后，需将滤膜阴干至半干燥状态，带上一一次性聚乙烯手套拆叠滤膜，并将滤膜边部折叠，以避免悬浮物脱落，每一张滤膜装一个塑料袋，塑料袋编号，并一起放入纸袋中编号送实验室。要求每个单位留两张空白滤膜作空白分析用。

A.4.1.10 实验室收到样品后应将滤膜和悬浮物移至已恒重的（ $65^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ）称量瓶中，于烘箱中在 65°C 条件下烘干并称重，记录悬浮物重量。反复烘干、冷却、称量，直至两次称量的重量差 $\leq 0.5\text{mg}$ 。

A.4.2 水地球化学样品

A.4.2.1 采水容器需用已过滤的水样清洗三次。

A.4.2.2 对测定Cr、Ni、Co、V、Be、Sn、Ti、Mn、Pb、Zn、Cu、Cd、As、Se等元素的水样,取过滤后的 1000 mL水样贮存于干净的聚乙烯塑料壶或玻璃瓶中，立即加入 10 mL（1+1）HCl摇匀。对测定Hg元素的水样，先在塑料壶内加入 50 mL浓HNO₃及 10 mL15% K₂Cr₂O₇溶液，再注入过滤后的 1000 mL水样，摇匀，石蜡封口。保护试剂使用前作空白分析，确保不污染样品。

A.4.2.3 水地球化学样品应按有关要求及时送实验室分析。

A.4.3 水系沉积物

A.4.3.1 水系沉积物采样点部位应尽量选择在水流变缓处，采集表层水系沉积物样品，深度一般不超过 2cm。

A.4.3.2 水系沉积物样品应具有充分代表性，要求在 1000 m 范围内选择 3 点~5 点采样组合。样品采集时需避开腐殖质聚集、人为明显污染地段。

A.4.3.3 样品采集后，按 DD2005-01 多目标区域地球化学调查规范（1:250000）要求进行加工，取小于 60 目样品 100g 送实验室分析，副样自行保管。

A.4.4 重复样

悬浮物样、水地球化学样品，按照野外总样品数量的 10%采集重复样或平行样。重复样或平行样采用同时同点采集和处理。

A.5 样品重量

枯水季节悬浮物样品干样为 1 g~1.5 g，丰水季节悬浮物样品干样为 2 g~3 g；水系沉积物重量为 1kg；水地球化学样每类样品为 1000 ml，外检样应加倍取样。

A.6 样品编号

全流域统一编号。样品编号以采样物质代码+流域代码(长江流域—CJ；黄河流域—HH；珠江流域—ZJ；松花江流域—SH 等)+省代码+省内连续编号表示。编号顺序以省域范围为界，按照水系顺序编号。规定悬浮物代码为 X，水系沉积物为 D，水地球化学样品为 S。每 50 个号码为一批，其中随机取 4 个号码为重复样编号，1 个为标准样编号。样品编号时做到重复样在同一批次内基本均匀分布。

A.7 定点

以地形图与手持 GPS 相结合的办法定点。野外正式工作前，需对 GPS 初始化、定点误差检测与测区内已知三角坐标点坐标进行校准，校准误差<15m。GPS 在测区内的定点误差小于 50m。手持 GPS 的坐标系统统一选择北京 54 坐标系。到达每一采样点，待 GPS 接收信号稳定后再读数，除自动输入航迹外，应输入该点的坐标并在记录中做相应记录。

A.8 分析测试要求

A.8.1 悬浮物、水系沉积物样品统一分析单位和分析方法。水样分析单位由各省实验室承担，分析要求执行 DD 2005-01 多目标区域地球化学调查规范（1:250000）。

A.8.2 悬浮物、水系沉积物、水地球化学样分析元素参见表 A.1。

表 A.1 应测和选测分析元素、指标及有机污染物

| 一般应测元素及指标 ^b | | | 一般选测元素及化合物 | | |
|---------------------------------------|----|---------|------------|----|-------|
| pH 值 | Hg | Rb | Ag | Si | Gd |
| 水温 ^a | I | Se | Au | Sn | Tb |
| Al | K | Sm | Be | Ta | Dy |
| As | Mg | Sr | Bi | Ti | Ho |
| Ba | Mn | Th | Ce | V | Er |
| Ca | Mo | Tl | Cs | W | Tm |
| Cd | Na | U | Fe | La | Yb |
| Co | Nd | Zn | Ga | Ce | Lu |
| Cr | Ni | 悬浮物矿物物相 | Nb | Pr | Y |
| Cu | P | 悬浮物粒径 | Sb | Pm | 有机污染物 |
| F | Pb | | Sc | Eu | |
| a 仅指水体温度测定； | | | | | |
| b 悬浮物和水系沉积物应测元素和指标，水体测试元素可作参考，不作硬性要求。 | | | | | |

A.8.3 分析检出限、精密度及样品测试中的质量控制，按 DD 2005-03 生态地球化学评价样品分析技术要求（试行）执行。悬浮物样品元素分析检出限见表 A.2。

表 A.2 悬浮物样品元素分析检出限要求

| 元素 | 检出限 (ug/g) | 元素 | 检出限 (ug/g) | 元素 | 检出限 (ug/g) |
|----|------------|----|------------|----|------------|
| Al | 0.027 | As | 0.2 | Ba | 0.03 |
| Ca | 1.5 | Cd | 0.005 | Co | 0.02 |
| Cr | 0.02 | Cu | 0.03 | F | 10 |
| Hg | 0.07 | I | 0.2 | K | 3 |
| Mg | 0.12 | Mn | 0.005 | Mo | 0.02 |
| Na | 2 | Nd | 0.05 | Ni | 0.05 |
| P | 0.1 | Pb | 0.05 | Rb | 0.1 |
| Se | 0.01 | Sm | 0.02 | Sr | 0.01 |
| Th | 0.003 | Tl | 0.003 | U | 0.01 |
| Zn | 0.005 | | | | |

A.8.4 悬浮物和水系沉积物要求 20% 的样品进行外检。

A.9 资料收集

A.9.1 采集水系的年水平均流量；

A.9.2 年径流量；

A.9.3 年平均输砂量；

A.9.4 洪水资料。

A.10 采样记录格式

河流系统各样品采集记录格式见表 A.3。

表 A.3 水系样品采集记录表

省：_____ 区：_____ 县：_____ 乡(镇)：_____

| | | | | | |
|---|-------|---|--|----|--|
| 河流名称 | | 汇水面积 | | 点号 | |
| 经度 | | 纬度 | | 高程 | |
| Y | | X | | 温度 | |
| 时间 | 年 月 日 | 水体体积 L | | pH | |
| 样品编号 | | | | | |
| 加入 10mL (1+1) HCl 水样 | | 加入 50mL 浓 HNO ₃ 及 10mL 5% K ₂ Cr ₂ O ₇ 水样 | | | |
| 悬浮物 | | | | | |
| <p>采样点及周围环境描述(包括 1、河流流速、截面积、河流上游汇水盆地土壤侵蚀率 2、采样点工农业分布情况；3、水体物理性质描述；4、气候条件（降水量、洪水情况和气温等)：</p> | | | | | |

采集人：_____ 记录人：_____ 核对人：_____ 时间：_____ 年 月 日

附录 B
(规范性附录)
¹⁴C和热释光测年样品采集技术要求

B.1 ¹⁴C样品

B.1.1 用于¹⁴C测年的样品包括各类有机碳及无机碳样品，不同样品采集最小量见表B.1，野外样品采集量应大于表中数值。对于年龄大于 36000 年或有特殊较高精度要求的样品，样品的采集量应为要求量的两倍。

表B.1 ¹⁴C测年法最小样品采集量表

| 样品种类 | 干 重 量 | | 颜色及特征 |
|-------|------------|-----------|------------|
| | AMS 法(mg) | 常规法(g) | |
| 木 头 | 15~75 | 25~30 | 浅黄—棕黑色 |
| 泥炭、淤泥 | 200~2000 | 500 | 深棕色、黑色 |
| | 500~5000 | 1000 | 浅灰—棕色 |
| 土 壤 | 1000~10000 | 1000~3000 | 视样品中的含碳量而定 |

B.1.2 在野外，利用一些简单的工具(如筛、小刀等)将沾附于样品表面的污物及不含碳的泥沙去掉，并将现代的草根等物去掉，但样品不需要晒干或烧干。

B.1.3 样品应装入塑料袋中(不要直接装入布袋或用纸包装)送交实验室，不要将纸作的标签放入样品袋中。

B.1.4 送样时应附上有关地质资料，供实验室人员在处理样品时参考。

B.2 热释光年龄样品

B.2.1 采样时，必须绝对避光，用黑雨伞或黑布遮光取样。

B.2.2 样品应尽量在岩性相对均一(30cm 范围内)的细粉砂-亚粘土内采集，并剥去暴露表面 25 cm~30 cm 后再取样。

B.2.3 野外采集 4 cm×5 cm×6 cm 块状样品，在野外用锡纸或铝箔纸包装后用塑料袋密封。每个样品需 200 g~250g。

B.2.4 样品应用不透光容器包装，如铝盒、铝罐或锡箔包装。

B.2.5 采集的样品应维持原状，减少水分丢失。

B.2.6 记录样品产出的地理位置、标高、层位、样品周围是否有放射性污染源，估计样品的大概年龄等。

附录 C
(规范性附录)
农业区不同污染源采集方法

C.1 大气干湿沉降样品

C.1.1 采样点布设

C.1.1.1 采样点四周(25m×25m)无遮挡雨、雪、风的高大树木或建筑物，并考虑风向(顺风、背风)、地形等因素，避开烟囱、交通道路等点、线污染源。

C.1.2.1 在盆地、河谷区内，样点可以均匀布设；在平原地区，样点沿风向等距离布设；山地、丘陵区，样点布设要兼顾谷、迎风坡、背风坡、丘（山）顶等要素，根据控制面积，按比例设计和布置样点。

C.1.2 采样用品

C.1.2.1 北方地区，采样器可选择内径 15cm，高 30cm 圆筒形的集尘缸（塑料、陶瓷玻璃或不锈钢质）；南方地区，可选择口径 40cm，高 60cm 圆筒形的集尘缸。

C.1.2.2 洗干净的集尘缸用盖盖好，携至采样点后，取下盖，根据当地的月降水量和蒸发量，加适量水。加水量视当地的气候情况而定。南方 300 mL~500 mL，华北地区 1500 mL~3000 mL，在整个采样期间应保持缸内有水。

C.1.2.3 记录放缸地点、缸号和时间。

C.1.3 采样方法

C.1.3.1 集尘缸应放置距地面 5 m~15 m 处，南方以 5 m~12 m 为宜，北方以 5 m~8 m 为宜。如放置屋顶平台上，采样口应距平台 1 m~1.5 m，以避免平台扬尘的影响。选择采样点时，应先考虑集尘缸不易损坏的地方，还要考虑操作者易于更换集尘缸。

C.1.3.2 冰冻季节，加入 20%乙二醇($C_2H_6O_2$)60 mL~80 mL，以占满缸底为准，防止结冰。

C.1.3.3 在夏季多雨季节，应注意缸内积水情况，为防水满溢出，及时更换新缸。

C.1.3.4 为了防止不属于降尘范围内的异物（如鸟粪、树叶等）落入集尘罐，集尘罐上可用尼龙网罩盖。

C.1.3.5 不同季节干沉降物质的量和所含物质浓度不同，所以采样时间至少为一年。一般地区，干湿沉降接收周期为一年，干湿沉降量较大的地区，可按月或季度定期更换集尘缸 ($n \pm 2d$)。

C.1.4 采样质量控制与要求

C.1.4.1 采样器具在使用前，用 10%(V/V) HCl 浸泡 24h 后，再用纯水洗净。

C.1.4.2 试剂为分析纯试剂和蒸馏水或同等纯度的水。

C.1.5 样品记录

样品记录格式见表 C.1。

表 C.1 大气干湿沉降采样记录表

市：_____ 区：_____ 乡（镇、街道）：_____

| | | | |
|--------------|-------|--------|-----------------|
| 缸号(样号) | | 样品编号 | |
| 位置 | | 坐标 | X _____ Y _____ |
| 放置起始时间 | 年 月 日 | 放置终止时间 | 年 月 日 |
| 采样点周围环境描述 | | | |
| 天气变化记录(降水类型) | | | |
| 备注 | | | |

采集人：_____ 记录人：_____ 核对人：_____ 时间：_____ 年 月 日

C.1.6 干沉降总量测定

当干湿沉降样品总量较少的时，采取以下方法计算干沉降总量。

首先用尺子测量集尘缸的内径(按不同方向至少测定 3 处，取其算术平均值)，用淀帚把缸壁擦洗干净，将缸内溶液和尘粒全部转入 500 mL 烧杯中，在电热板上蒸发，使体积浓缩到 10 mL~20 mL，冷却后用水冲洗杯壁，并用淀帚把杯壁上的尘粒擦洗干净，将溶液和尘粒全部转移到已恒重的 100 mL 瓷坩埚中，放在搪瓷盘里，在电热板上小心蒸发至干(溶液少时注意不要崩溅)，然后放入烘箱于 65 ±5 烘干，称量至恒重，并按下式计算：

$$M = \frac{W_1 - W_0 - W_c}{S \times n} \times N \times 10^4 \dots\dots\dots (C.1)$$

式中：

M——降尘总量，单位为g / cm² · N d；

W₁——降尘、瓷坩埚和乙二醇水溶液蒸发至干，并在 65 ±5 恒重后的重量，单位为g；

W₀——在 65 ±5 烘干的瓷坩埚重量，单位为g；

W_c——与采样操作等量的乙二醇水溶液蒸发至干，并在 65 ±5 恒重后的重量，单位为 g；

S——集尘缸缸口面积，单位为cm²；

n——采样天数，(准确到 0.1d)；

N——计量天数(计量单位为月，N=30；计量单位为年，N=365)。

C.1.7 干湿沉降总量测定

当干湿沉降量较多时，采取以下方法获得干湿沉降元素总量。

C.1.7.1 野外处理

C.1.7.1.1 将沉降缸放置（约 2~3 天）使上部溶液澄清。用虹吸法吸取上清液至另一容器中，测定上清液的总体积或重量。将剩余的沉淀物和悬浊液转移至合适的容器中，测定其总体积和重量。

C.1.7.1.2 将上清液搅拌均匀。取上清液 2500mL 至塑料容器中，用于检测溶液中固形物和其他须检测项目。其中取上清液 500mL 塑料容器中，加入 1:1 硝酸（保护剂）10mL，用于检测溶液中多项金属元素。取上清液 500mL 塑料容器中，加入 5%重铬酸钾（保护剂）溶液 5mL，用于检测溶液中汞元素。余下的 1500mL 上清液,移至塑料容器中，作为清水样或付样。并将准备好的样品密封送至实验室。

C.1.7.1.3 将剩余的沉淀物和悬浊液转移至合适的容器中，密封送至实验室。

C.1.7.1.4 若样品无法澄清，则全部用 0.45 μ m 的聚酯纤维滤膜全部过滤，并测定清液的总体积或重量，同 C.1.7.1.取样送实验室；滤网上部物质同处理同悬浮物处理方法。

C.1.7.2 实验室处理

C.1.7.2.1 将 C.1.7.1.3 样品用 0.45 μ m 的聚酯纤维滤膜全部过滤，记录滤液体积，弃去滤液。滤网上部物质风干或在 65℃以下烘干，称重，制成分析样。

C.1.7.2.2 按相应分析方法将 C.1.7.1.2 和 C.1.7.2.1 的样品测定固形物和金属元素。并换算总体积的固形物及金属总量。溶液样品应经过硝化处理后，再进行测定。

C.1.7.2.3 换算降尘金属物含量：

C.1.7.2.3.1 降尘总质量=（C.1.7.2.1 分析样）质量+（溶液固形物总质量）

C.1.7.2.3.2 降尘某金属含量=
$$\frac{(\text{C.1.7.2.1 分析样某金属量} + \text{溶液某金属量})}{\text{降尘总质量}}$$

C.1.7.2.4 总金属量=（某金属含量×实际分析样质量或液体总体积）。

C.2 水样

C.2.1 布点原则

C.2.1.1 充分考虑调查区水文特征、河道地形、支流汇入及水文工程情况；植被与水土流失情况；其它影响水质及其均匀程度的因素。

C.2.1.2 采样点要避开死水及回水区，选择河段顺直、河岸稳定、水流平缓、无急流湍滩且交通方便处。

C.2.1.3 力求以较少的测点获取最具代表性的样品，全面、真实、客观地反映该区域水环境质量及污染物的时空分布状况与特征。

C.2.2 布点方法

C.2.2.1 河流水系的布点方法

C.2.2.1.1 单点布设法

适合于河面较窄、流量不大、河床没有沙滩的小河床。可在河流中心取样，也可在河流断面上取混合水样。

C.2.2.1.2 三点布设法

当在工业城市的下游有较大的河心滩时，则在河水分流处布设一点，河心滩两边各设一点。

C.2.2.1.3 断面布设法

对于河面宽、水量大、水深流急的河流应采用断面布设法。

河流水系采样垂线的布设及采样垂线上采样点布设，应符合表 C.2 和表 C.3 的规定。特殊情况可按河流水深和待测物分布均匀程度确定。

表 C.2 河流水系采样垂线布设

| 水面宽(m) | 采样垂线布设 | 岸边有污染带 | 相对范围 |
|----------|---------|---------------|-----------------|
| <50 | 1条(中洪处) | 如一边有污染带增设1条垂线 | |
| 50~100 | 左、中、右3条 | 3条 | 左、右设在距湿岸5m~10m处 |
| 100~1000 | 左、中、右3条 | 5条(增加岸边两条) | 岸边垂线距湿岸边5m~10m处 |
| >1000 | 3~5条 | 7条 | |

表 C.3 河流水系采样垂线上采样点布设

| 水深(m) | 采样点数 | 位 置 | 说 明 |
|-------|------|-----------------------------|------------------------|
| <5 | 1 | 水面下 0.5m | 1.不足 1m 时,取 1/2 水深。 |
| 5~10 | 2 | 水面下 0.5m, 河底上 0.5m | 2.如沿垂线水质分布均匀,可减少中层采样点。 |
| >10 | 3 | 水面下 0.5m, 1/2 水深, 河底以上 0.5m | 3.潮汐河流应设置分层采样点。 |

C.2.2.2 湖泊、水库的布点方法

根据汇入湖、库的河流数量,径流沿岸污染源的影响,水体的生态环境特点,湖库中污染物的扩散与水体的自净力等情况,设置以下几种断面:

C.2.2.2.1 在湖泊、水库的主要出入口、中心区、滞流区设置断面。

C.2.2.2.2 峡谷型水库,应在水库上游、中游、近坝区及库层与主要库湾回水区布设采样断面。

C.2.2.2.3 在湖、库区沿岸的城市、工业区、大型排污口、饮用水源、风景游览区、游泳场、排灌站等地,以这些功能区为中心,在其辐射线上设置近似弧型的采样断面。

C.2.2.2.4 在湖、库中不同鱼类的洄游产卵区设置采样断面。

C.2.2.2.5 湖泊(水库)无明显功能分区,可采用网格法(同心圆法或平行线法)均匀布设,网格大小一般为 2km²。

主要出入口上、下游和主要排污口下游断面,其采样垂线按表 C.2 规定布设;湖泊、水库的中心,滞流区的各断面,可视湖库大小、水面宽窄,沿水流方向适当布设 1 条~5 条采样垂线。采样垂线上采样点的布设要求与河流相同;水体封冻时,采样点应布设在冰下水深 0.5m 处;水深小于 0.5m 时,在 1/2 水深处采样(表 C.3)。

C.2.2.3 农田灌溉水和农田退水布点方法

农田灌溉水和农田退水样点应布设在主要灌溉取水口和退水口。在有灌溉水网地区,应按常年主导流向设置断面;有多个叉路时应设置在较大干流上,控制径流量不得少于总径流量的 80%。

C.2.3 采样方法

C.2.3.1 采样频次和时间

C.2.3.1.1 江、河、湖、库等水系分枯水期、平水期、丰水期采样，北方有冰封期和南方有洪水期限的省市，必须增加冰封期、洪水期采样。

C.2.3.1.2 定期进行大规模农田灌溉的地区则在灌溉期间同步取样。

C.2.3.2 样品采集要求和注意事项采样频次和时间

C.2.3.2.1 采样应在自然水流状态下进行，不应扰动水流与底部沉积物，以保证样品代表性。

C.2.3.2.2 水样采集量视采用的分析方法所需水样量及备用量而定。

C.2.3.2.3 采样时，采样器口部应面对水流方向。用船只采样时，船首应逆向水流，采样在船舷前部逆流进行，以避免船体污染水样。

C.2.3.2.4 容器在装入水样前，应先用该采样点水样冲洗三次。装入水样后，应按要求加入相应的保护剂，之后摇匀，并及时填写水样标签。

C.2.3.2.5 水样添加的保护剂应按照 DD2005—03 区域生态地球化学样品分析技术要求（试行）要求执行。

C.2.3.2.6 因采样器容积有限，需多次采样时，可将各次采集的水样放入洗净的大容器中，混匀后分装。

C.2.4 样品采集质量控制、样品制备与现场测定

C.2.4.1 质量控制样品数量应为水样总数的 10%~20%，每批水样不得少于 2 个。

C.2.4.2 质量控制样品可用以下方法：

C.2.4.2.1 现场空白样。在采样现场，按样品采集相同步骤，将纯水装瓶，与水样同样处理，以掌握采样过程中环境与操作条件对监测结果的影响。

C.2.4.2.2 现场平行样。现场采集平行水样，用于反映采样与测定分析的精密度状况，采集时应注意控制采样操作条件一致。

C.2.4.2.3 加标样。取一组现场平行样，在其中一份中加入一定量的被测物标准溶液。然后两份水样均按常规方法处理后，送实验室分析。

C.2.4.2.4 pH 值参数应在采样现场采用 pH 值计法测定，悬浮物可在现场采集一定容量水样，用中速定量滤纸过滤获得。

C.2.4.2.5 水样保存与运送按照 DD2005-03 区域生态地球化学样品分析技术要求（试行）执行。

C.2.5 样品记录

样品记录格式见表 C.4。

表 C.4 水样采集记录表

| | | | | | | |
|------------------------------|--|------|----------|-----|--|--|
| 地区 | | 采集时间 | | 编号 | 加入 10mL (1+1) HCl 水样 | |
| 地名 | | 采集量 | | | 加入 50mL 浓HNO ₃ 及 10mL 5%K ₂ Cr ₂ O ₇ 水样 | |
| 水渠或水系名称 | | pH 值 | | 经纬度 | 经度: _____ 纬度: _____ | |
| 每亩地灌溉水量 (M ³) | | | 年降雨量(mm) | | | |
| 采样水域 特征描述 | | | | | | |

采集人: _____ 记录人: _____ 核对人: _____ 时间: _____ 年 _____ 月 _____ 日

C.2.6 资料收集

收集评价区每亩农田年灌溉水量和年降雨量。

C.3 底泥样品

C.3.1 采样点布设

C.3.1.1 采样点布设原则

与地表水采样垂线相结合。

C.3.1.2 采样点布设方法与要求

C.3.1.2.1 采样断面应选择在水流平缓、冲刷作用较弱的地方, 采样点按两岸、近岸与中心布设, 近岸采样点距湿岸 2 m~10 m。如因含砾等采集不到样品, 可略作移动, 但应作好记录。

C.3.1.2.2 湖泊、水库采样点布设应与湖泊、水库水质采样垂线一致。

C.3.1.2.3 底泥柱样品采样点应设置在河段沉积较均匀, 代表性较好处。

C.3.2 采样

C.3.2.1 采样方法

C.3.2.1.1 用挖式、锥式或抓式沉积物采样器采集，水流流速大时需与铅锤配用。

C.3.2.1.2 底泥柱样品用管式沉积物采样器采集。

C.3.2.1.3 水深小于 1.5m 时，亦可选用削有斜面的竹杆采样。

C.3.2.2 底泥样品采集要求及注意事项

C.3.2.2.1 采样前，采样器应用水样冲洗，采样时应避免搅动底部沉积物。

C.3.2.2.2 为保证样品代表性，在同一采样点可采样 2~3 次，然后混匀。

C.3.2.2.3 样品采集后应沥去水份，除去石块、树枝等杂物。供无机物分析的样品可放置于塑料瓶(袋)中。

C.3.2.2.4 底泥采样量为 0.5 kg~1.0 kg（湿重），测试项目多时应酌情增加。

C.3.2.2.5 底泥样品的采集应与水质采样同步进行。

C.3.3 样品记录

样品记录见表 C.5。

表 C.5 底泥样品采集记录表

市：_____ 区：_____ 乡（镇、街道）：_____

| | | | | | |
|-----------|--|------|--|------|--|
| 点号 | | 样品编号 | | 位置 | |
| 经度 | | 纬度 | | 采样时间 | |
| 采样点离水面高度 | | | | | |
| 采样点周围环境描述 | | | | | |
| 样品描述 | | | | | |

采集人：_____ 记录人：_____ 核对人：_____ 时间：_____ 年 _____ 月 _____ 日

C.3.4 样品保存

底泥样品采集后，贮存于聚乙烯或玻璃容器中，测试重金属样品可在-20 ~-40 冷冻保存 6 个月（汞为 30 天）；测试颗粒度的样品在分析前严禁冷冻和烘干处理。

C.3.5 样品制备

C.3.5.1 自然风干。

C.3.5.2 剔除石块、贝壳、杂草等杂质，平摊在有机玻璃板上，剔除明显的砾石与动植物残体，反复碾压过 20 目筛，至筛上不含泥土为止。

C.3.5.3 测定金属的样品应用玛瑙粉碎器皿，研磨至全部样品通 80 目~200 目筛(视测定项目要求而定)。

C.3.5.4 筛下样品应采用四分法缩分，得到所需量的底泥样品装入棕色广口瓶中，贴上标签后，供测试用或冷冻保存。

C.3.5.5 测定金属项目的样品应使用尼龙网筛；测有机污染物样应使用不锈钢网筛。

C.3.5.6 测定汞、砷、硫化物等项目样品宜采用人工方法碎样，并且过 80 目筛。

C.4 肥料样品

C.4.1 样点布设

C.4.1.1 采样点布设原则

C.4.1.1.1 所采样品要有普遍性，能代表调查区 90%以上的用肥情况。

C.4.1.1.2 样品数满足数据统计要求。

C.4.1.2 采样点布设方法

C.4.1.2.1 把调查区按行政区划分成若干片，在每个片区选一至两个销售点集中采样。

C.4.1.2.2 用网格法均匀布设采样点，分散到农户家取样。

C.4.2 采样

C.4.2.1 采样方法

用样签或样铲人工取样。

C.4.2.2 采样要求

C.4.2.2.1 分别对氮肥、磷肥、钾肥、复合肥、微肥、有机肥等大量施用的肥料取样。

C.4.2.2.2 样量满足分析和保存量要求，一般为 1 kg~1.5 kg。

C.4.3 样品记录

样品记录格式见表 C.6。

C.4.4 资料收集

深入农户，了解调查区使用化肥、有机肥(包括污泥、底泥等)的比例和年施用量。

表 C.6 肥料样品采集记录表

市：_____ 区：_____ 乡（镇、街道）：_____

| | | | | | | |
|---------|--|--------|--|--------|-----|--------------------|
| 地区 | | 地名 | | 编号 | | 经度 |
| | | | | | | 纬度 |
| 肥料名称 | | 主要标注成份 | | 样品外观描述 | 颜色： | |
| 施肥量/年·亩 | | 采样时间 | | | 形态 | 固态： 结晶 粒状 粉状 |
| | | | | | | 液态： 溶液 悬浮液 |
| 备注 | | | | | | |

采集人：_____ 记录人：_____ 核对人：_____ 时间：_____ 年 月 日

附录 D
(规范性附录)
城市降尘采集方法

D.1 交通尘

D.1.1 样点布置

选择城市汽车交通流量大的地段或按照网格布点。

D.1.2 样品采集

采集公路边电线杆、树木、建筑物等 1.5 m~2 m 以上部位的降尘，样品量满足分析量及保存备用量要求。采样点用 GPS 定位。

D.1.3 样品采集工具

毛刷、纸袋、手套和 GPS。

D.1.4 样品记录

样品记录见表 D.1。

D.2 建筑尘

D.2.1 样点布置

在城市中，选择规模较大的建筑工地。

D.2.2 样品采集

在建筑工地周围的电线杆、树木、建筑物等 1.5 m~2 m 以上部位收集浮降尘，样品量满足分析量及保存备用量要求。采样点用 GPS 定位。

D.2.3 样品采集工具

毛刷、纸袋、手套和 GPS。

D.2.4 样品记录

样品记录见表 D.1。

D.3 燃煤尘

D.3.1 样点布置

考虑调查区主导风向，在燃煤企业的下风处布置采样点。

D.3.2 样品采集

采集样点区电线杆、树木、建筑物等 1.5 m~2 m 以上部位的降尘，或在烟囱内壁及周围

采集样品，样品量满足分析量及保存备用量，采样点用 GPS 定位。

D.3.3 样品采集工具

毛刷、纸袋、手套和 GPS。

D.3.4 样品记录

样品记录见表 D.1。

D.4 冶金尘

D.4.1 样点布置

考虑调查区的主导风向，在冶炼厂下风处布置采样点。

D.4.2 样品采集

采集冶炼厂周围电线杆、树木、建筑物等 1.5 m~2 m 以上部位的降尘，或在烟囱内壁及周围采集样品，样品量满足分析量及保存备用量，采样点用 GPS 定位。

D.4.3 样品采集工具

毛刷、纸袋、手套和 GPS。

D.4.4 样品记录

样品记录见表 D.1。

D.5 汽车尾气尘

D.5.1 样点布置

选择城市中大的停车场、长途车站、加油站布置采样点。

D.5.2 样品采集

直接在汽车尾气管内刮取尾气尘，相同类型的汽车尾气尘合并成一个样品，样品量满足分析量及保存备用量。记录汽车类型和所用汽油型号。

D.5.3 样品采集工具

毛刷、纸袋、手套。

D.5.4 样品记录

样品记录见表 D.1。

表 D.1 城 市 降 尘 采 样 记 录 表

市：_____ 区：_____ 乡（镇、街道）：_____

| | | | | | | |
|------------|-----|-----|---------------|-----|-----|----|
| 类别 | 交通尘 | 建筑尘 | 燃煤尘 | 冶炼尘 | 尾气尘 | 其他 |
| 点号 | | 位置 | | | | |
| 样品 编号 | | 坐标 | X _____Y_____ | | | |
| 降尘采样点离地面高度 | | | | | | |
| 采样点周围环境描述 | | | | | | |
| 备注 | | | | | | |

采集人：_____ 记录人：_____ 核对人：_____ 时间：_____ 年 _____ 月 _____ 日

附录 E
(规范性附录)
湖泊及浅海沉积物采集方法

E.1 样点布置

E.1.1 湖泊沉积物

采用剖面部署湖泊底积柱，剖面位置应从汇水口开始部署；对于 $>100\text{km}^2$ 的湖泊，底积柱应 >6 个， $50\text{ km}^2\sim 100\text{km}^2$ 的湖泊，湖泊底积柱应 >4 个， $<50\text{km}^2$ 的湖泊应为1个~2个。

E.1.2 浅海沉积物

应用面、柱相结合的原则进行采样，既考虑到研究区面上的均匀性，又考虑到关键点的环境污染历史记录。

E.2 样品采集

E.2.1 采样点定位

在采集底积柱之前，应根据地形图初步计算每个底积柱的图面坐标，湖面中柱与柱之间的位置相对均匀。实际采样过程中，将计算的坐标输入手持GPS中，采用GPS导航的方法，寻找拟采集底积柱样品的位置。

E.2.2 采样方法

E.2.2.1 每点采集水样、生物样和沉积物样。采样范围兼顾河口、滩涂及浅海的深度变化。水面以上（滩涂）的沉积物样品采集使用金属铲，水面以下的沉积物样品采集使用小型曙光采泥器（GB17378.7-1998）。

E.2.2.2 沉积柱样品，采用专用柱状重锤式重力采样器，到达取样点后，固定船或水上平台后，根据GPS定点记录点位，同时记录水深，然后进行垂直取样。为确保表层没有明显地受采样器的扰动，采样器要垂直且尽可能慢地一次性取湖底完整岩芯。如在拟定位置由于沉积速率过小或其它因素采集不到湖底完整岩芯，可适当调整采样位置。

E.2.2.3 柱状样长度大多控制在 $50\text{ cm}\sim 100\text{ cm}$ 左右（有个别底积柱要求加深到 200 cm 左右），每个底积柱具体取样深度以能反映出100年来沉积变化序列为原则，沉积物岩芯直径不小于 5cm ，且保证沉积物岩芯顶部以上有 $5\text{ cm}\sim 10\text{ cm}$ 的湖水(或海水)。

E.2.2.4 完整沉积物岩芯提出水面后，现场用底部顶芯器将岩芯从底部向上顶出，按规定间隔用专用切割器切割样品，岩芯切割密度为 $0.5\text{ cm}\sim 2.0\text{ cm}$ （分样间隔应事先对当地湖泊沉积物沉积速率进行初步资料调研，一般来说沉积速率快则取样间隔大，反之则取样间隔

小), 最小切割间距 $>0.1\text{ cm}$ 。将分割好的样品直接放入样品盒或密封塑料袋中, 也可用 PVC 管当场密封, 液氮凝固或速冻, 运回实验室切割和切片描述。对于 $>100\text{ cm}$ 的底积柱样品, 为运输方便, 应分段用 PVC 管密封。

E.2.2.5 一个采样点原则上要求同时取 3 个沉积柱样。同一地点的 3 个底积柱沉积物岩芯的样品切割间距应完全一致。其中第一个底积柱的切割样品进行 ^{210}Pb 、 ^{137}Cs 同位素测年分析; 第二个底积柱切割样品留作重金属和其他理化参数分析; 第三个底积柱切割样品留作有机污染物分析 (需保存在冰柜中)。同时应在冰柜中保存切割后的完整岩芯副样。

E.2.2.6 单个切割样品的时间分辨率应在 5 年以内 (3 年~5 年), 分析重金属含量、理化参数及有机污染物的切割样品应根据同位素测年数据, 进行适当组合。

附录 F
(规范性附录)
生物样品采集方法

F.1 选样与采集

F.1.1 植物样品

植物样品包括植株茎叶等组织、籽粒和蔬菜瓜果等。

F.1.1.1 选定样株

样株要有充分代表性，采样时要避开株体过大过小、遭受病虫害或机械损伤以及田边路旁的植株。

F.1.1.2 取样和测产

F.1.1.2.1 粮食作物

F.1.1.2.1.1 小麦

a) 选点及采样：首先了解整个田块面积、地形及小麦长势。目测麦株密度、高矮、麦穗大小及成熟度等，根据这些情况进行分类。把整齐度一致的麦株划为一类，估算出各类别的面积比例。然后分类选点取样和并按比例测出产量。

通常在 5 亩以内、长势整齐的小麦田中，采用对角线法选取 4 个~5 个样点，四周样点要距地边 1 m 以上，个别样点如缺乏代表性应作适当调整，每个样点取 50cm×(播幅+幅距) cm 的样方一个。

b) 测产：首先在每个样方内，数出有效穗数：

$$\text{每亩穗数} = \frac{\text{样点内有效穗数}}{\text{样点面积}(m^2)} \times 666.7m^2 \dots\dots\dots(F.1)$$

在每个样点内随机数 20 株的每穗结实粒数，求出平均每穗实粒数。最后根据所测品种历年千粒重计算粒重，或将所有选定样本的植株全部脱粒晒干后，测其千粒重。

c) 产量计算：每亩产量计算的理论值为：

$$\text{理论产量}(kg / \text{亩}) = \frac{\text{每亩穗数} \times \text{平均每穗实粒数} \times \text{千粒重}(kg)}{1000} \dots\dots\dots(F.2)$$

理论产量是每亩净面积产量，若麦田畦作，畦沟占地较多的应乘以土地利用率(%)，另外再乘以 95% (减去脱粒和收获损失 5%)，理论产量与实收产量可基本相符。

F.1.1.2.1.2 玉米

首先对所测地块的生长发育状况进行实地察看，选点时根据地块大小确定样点数目，一般每块地选 5 个~10 个点，每点取代表性植株 10 株~20 株。选测 20 行~30 行的行距，求出平均行距，再间隔选出 4 行~5 行，每行测 40 株~50 株的株距，求出平均株距。同时

计算出所测株的总穗数，求出单株结穗率。

$$\text{株数/亩} = \frac{666.7(m^2)}{\text{平均行距}(m) \times \text{平均株距}(m)} \dots\dots\dots(F.3)$$

$$\text{单株结穗率} = \frac{\text{穗数(亩)}}{\text{株数(亩)}} \dots\dots\dots(F.4)$$

在测定株距地段上，剥开苞叶数计每穗粒数。粒重根据所测品种历年千粒重计算，或将定样本植株的果穗全部脱粒晒干后，测其千粒重。

预测每亩产量可用以下两种公式：

$$\text{预测每亩产量}(kg) = \frac{\text{每亩穗数} \times \text{每穗实粒数} \times \text{千粒重}(kg)}{1000} \dots\dots\dots(F.5)$$

$$\text{预测每亩产量}(kg) = \frac{\text{取样粒重}}{\text{取样株数}} \times \text{每亩实际株数} \dots\dots\dots(F.6)$$

F.1.1.2.1.3 大豆、油菜和水稻

大豆、油菜和水稻样品的采集同玉米。

F.1.1.2.2 瓜果蔬菜

不同大小的瓜果蔬菜，采集数量不同。较小的果实，如青椒应不少于 40 个；番茄、洋葱、马铃薯不少于 20 个；黄瓜、茄子（大蒜、胡萝卜）不少于 15 个；大的瓜果（白菜球、橄榄球、萝卜）不少于 10 个。数量多时切取果实的 1/4（或 1/6、1/8）组成平均样品，总鲜重以 1 kg 左右为宜。

F.1.1.2.3 牧草

牧草样品要求在广泛的地块中选取 3-5 个有代表性的样方采集，留茬高度一致，约为 1 cm~3 cm。

F.1.1.3 样品切割

样品采集后，立即将植株样品按不同部位(根、茎、叶、籽粒)分开，以免养分转移。剪碎的样品太多时，可在混匀后，用四分法缩分至所需的量(要保证干样约 100 g)。籽粒的样品要在脱粒后，混匀铺平，用方格法和四分法缩分，取得约 250 g 样品。颗粒大的籽实可取 500 g 左右。

F.1.1.4 样品洗涤

一般作微量元素分析和肉眼明显看得见或明知受到施肥、喷药污染的样品需要洗涤。样品应在刚采集的新鲜状态冲洗，一般可用湿布擦净表面污染物，然后再用蒸馏水冲洗 1

次~2次。

F.1.1.5 样品测定

测定硝态氮、氨基态氮、氰、无机磷、水溶性糖、维生素等不稳定成分须用新鲜样品，如需短期保存，必须在冰箱中冷藏；测定大量和微量元素时则常用干燥样品，洗净的样品必须尽快干燥。通常先将鲜样在 80 ~90 烘箱（最好用鼓风烘箱）中烘 15min~30 min，然后降温至 60 ~70 ，逐尽水分，时间需视鲜样水分而定，大约 12h~24h。对于某些特殊元素如 Hg、As 的测定，推荐低温冷冻干燥法，或在 60 以下烘干，但此种情况需同时做不同干燥温度（至少包括冷冻干燥，常温风干两个对照温度）对作物中 Hg、As 含量影响的对比实验。

F.1.2 动物样品

F.1.2.1 肉类

一般到工区内大的集贸市场购买来自调查区内的新鲜肉样品至少 3 件，最好取里脊、胸肌或背肌。根据统一取样的原则，取同一部位的肉样，搅碎混匀，按四分法分取样品，或在不同位置切取小块，混合为一个样品，重约 500g，冷冻保存。

F.1.2.2 奶类

选择至少 3 个奶牛养殖点(户)，取刚挤出的原奶约 500 mL，混合后，留取 500 mL。

F.1.2.3 水产类

大鱼（250g 以上）取 3 条-5 条，小鱼取 10 条-30 条，洗净后沥去水分，去鳞、鳍、内脏、皮、骨等非可食部分，取一侧或全部可食部分，约 500 g。每条鱼在颈后和肛门后，以及二者之间中心部位各切取一窄段鱼体，混合后成为一个样品。如果只取某一部分，则分取该部分，混合成一个样品。小的鲜鱼按种类、大小分类，尽快冷藏。如只分析某一部分，则将分离的部分冷藏。分析时在捣碎器内捣成均匀浆质，然后进行分析。测定有机污染物的样品用有机溶剂萃取，测定金属元素的样品需要进行灰化。

贝类或甲壳类样品，洗净沥干后，取可食部分约 100g~200g，贝类应将壳内汁液共同取出混入食用部分。可在速冻后连同冰一起挖出，捣碎，保存于冰箱中或立即分析检测。

海藻类样品，选取树条海带，冲洗清洁后，沿中央肋剪开，各取其半，剪碎混匀，按四分法取样 100g~200g，贮存于冰箱中或立即分析检测。

F.1.3 人体样品的采集

人体样品主要指血液、头发。取人体血液样品应先准备洗净的硬质玻璃小试管，取样时将所取准确体积的样品注入试管，并用聚乙烯塑料薄膜包裹管口，冷冻保存，一般不用抗凝剂，如有必要可用柠檬酸钠抗凝(6 mg 柠檬酸钠可抗凝 1 mL 血液)。

人发样品一般以 2g~5g 为宜，要求取枕部同一部位的头发。头发样品先经 1% 的洗涤剂浸泡，再用蒸馏水冲洗干净，最后用蒸馏水清洗三次，于 60℃ 烘干。

F.2 样品的贮存、处理和测定的有关注意事项

F.2.1 样品预处理

元素 Hg、Cd、Pb、As 的分析方法和检出限均参照食品中总汞（GB/T50012.17-1996）、总镉（GB/T50012.15-1996）、总铅（GB/T50012.12-1996）、总砷（GB/T50012.11-1996）测定的国家标准方法进行。如果条件允许建议采用冷冻干燥，微波密闭消解后测定。

F.2.2 样品储存

粮谷、豆类可用布袋、纸袋盛装，常温、通风良好时，也可用广口瓶装；鱼、贝、藻类和动物性食品（极易腐败）用塑料袋盛装，低温下保存；瓜果*、蔬菜类*可用食品塑料袋盛装，防止腐烂。

F.2.3 样品加工

对于水分少、油脂少的干燥样品如粮食等，一般粉碎样品的仪器多采用研钵和粉碎机。样品粉碎至全部过 1 mm 筛。对于水分多，脂肪多的样品，如鱼、肉、贝、蔬菜*、水果*等，多使用匀浆机和组织捣碎机进行。

带*号的样品也可用于样分析。

附录 G
(规范性附录)
土壤溶液野外采集方法

G.1 取样器组成

取样器主要分为三部分：陶瓷头（即吸杯）、采样瓶、真空泵。陶瓷头是取样器的主体部件，土壤溶液通过陶瓷头进入采样瓶。陶瓷材料的孔径为 $0.01\ \mu\text{m}\sim 0.035\ \mu\text{m}$ ，平均 $0.02\ \mu\text{m}$ 。真空泵是取样器的动力装置，通过它使采样瓶保持负压状态，从而把土壤溶液吸入瓶中。采样瓶配备双孔橡胶塞，分别连接真空泵和陶瓷头。连接各部件的为硬质的 PVC 导管，可避免负压下被压扁。其他配件还有：用于接头的橡胶套管，用于堵塞橡胶套管的金属杆，以及止血钳（或镊子）。在同一地区工作时，真空泵和止血钳只需要一套，陶瓷头（含导管）、采样瓶和橡胶套管、金属杆可根据工作量要求配备若干。

G.2 采样器组装

陶瓷头有两个支管(图 G1)，较粗的一根是溶液导管，连接至采样瓶（由橡胶套管相连），其在陶瓷头内的部分为细钢管，插至底部；较细的一根是用来连通大气，采样时末端套管被

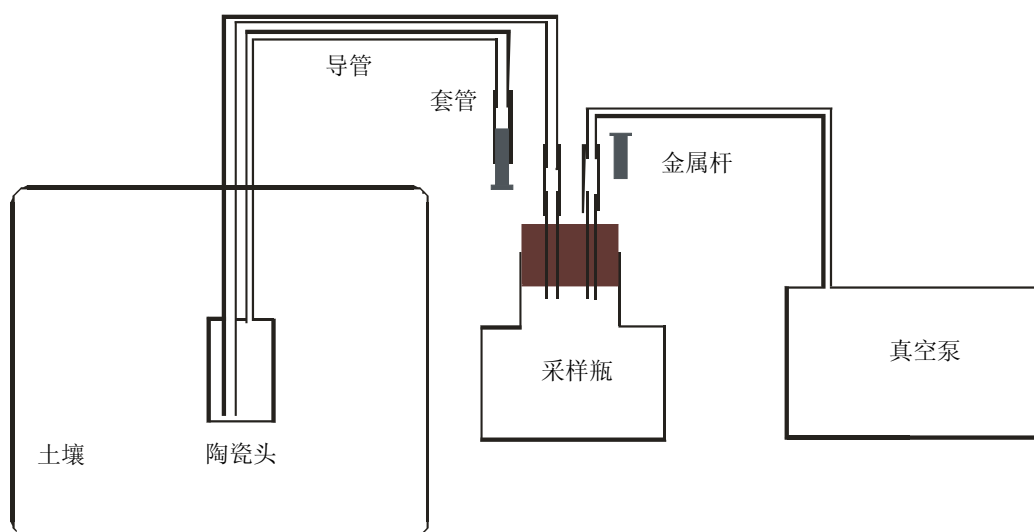


图 G.1 负压式土壤溶液采样器示意图

金属杆堵塞，摘下金属杆可使陶瓷头内溶液在大气压下全部转移至采样瓶。为防止冻裂或老鼠啃咬，两支塑料导管应一并套在一个较粗的硬质塑料管中。此部分导管长度根据取样点距离田埂远近预先设定，一般不短于 3m。采样瓶也有两个支管，另一根连接真空泵。采样时连接状态如图 G.1 所示，用真空泵抽去采样瓶及陶瓷头内空气，形成-0.7 个大气压的真空状态，在负压作用下，土壤溶液通过陶瓷头进入采样瓶。

G.3 土壤溶液取样操作步骤

G.3.1 清洗

第一次使用的新仪器，在安装前首先要把陶瓷头用稀酸洗干净，然后用去离子水清洗。以后每次在一地使用完毕改换另一地使用之前都应如此清洗，避免不同样品相互污染。清洗时装置如同采样时安装，以保证陶瓷头、导管和采样瓶各部件均洗净。

G.3.2 埋置

在大面积连续农耕区选取具有代表性的较大田块，并在田地中央挑选合适的取样点。用直径略大于陶瓷头的土钻在取样点垂直打一个深度 20 cm~30 cm 的孔，将土钻中的土壤取出，过筛去掉粗砂和石砾，加水搅和成泥浆倒回孔中，把陶瓷头放入孔中央，使泥浆没过陶瓷头。实际操作中，也可用细石英砂代替泥浆来提高土壤与陶瓷头间的结合，并有效防止泥浆堵塞陶瓷头空隙影响采样效果。钻孔用土壤填实，防止大气进入。为了防止水分沿取样器周围下渗，可在近地面处加一个橡胶圈。

G.3.3 连接

把陶瓷头通气支管用金属杆堵塞，确保密闭。溶液导管通过橡胶套管与采样瓶相连，真空泵进气口也通过套管与采样瓶相连。

G.3.4 润洗

按压真空泵抽气，使瓶内气压为-0.7 个标准大气压（实验经验值）。由于陶瓷头具有很强的吸附作用，在第一次采集样品时，土壤溶液样品中的溶质（特别是微量物质）往往被吸附而使测定结果偏低，所以新陶瓷头在使用前要用与所取样品组分近似的溶液冲洗以达到平衡。实际应用中一般是通过实地土壤溶液润洗，即最初抽取的溶液并不取样，只用于润洗陶瓷头、导管和采样瓶。因此，在抽取少量溶液时，拆除装置，倒出瓶中溶液，然后重新进行安装、抽气操作。

G.3.5 采样

在负压达到要求时，采样过程即已开始。此时可以用止血钳夹住泵上橡胶套管，移除真空泵，然后用金属杆堵塞套管，取下止血钳。一套取样装置安装完毕。这时同一套真空泵和止血钳可以拿到别处进行新的操作。

G.4 注意事项

G.4.1 陶瓷头上导管长度应在 3m 以上，因为一般采样点应至少距离田埂 3m。这样采样瓶和真空泵可置于田埂处，方便操作。

G.4.2 取样仪器必须确保清洁、安全。第一次使用前以及每次使用后都应及时用稀酸清洗，并用去离子水中抽洗几次。

G.4.3 仪器安装时要注意陶瓷头埋置深度是否达到要求；钻孔上部要填实，避免陶瓷头接

触大气；各处套管接口要密闭，特别要注意止血钳和金属杆的操作。

G.4.4 负压状态可根据具体情况调节，但不应小于-0.8 个标准大气压。

G.4.5 陶瓷头安装之后不应立即取样，要等待一段时间，让陶瓷头与土壤充分接触达到平衡，然后开始取样。

G.4.6 土壤溶液采集之前，一定要先用最初抽取的溶液润洗装置，以保证平衡。

G.4.7 埋置陶瓷头应尽量在至少 10 个无雨日之后。若埋置后有雨，也不要在大雨之后马上抽取土壤溶液。应在土壤溶液为常态时进行采样。

附录 H
(规范性附录)
有机污染物采样技术要求

H.1 布点原则

H.1.1 农业生态系统和草地生态系统为均匀布点。

H.1.2 湿地湖泊生态系统以水面面积划分布点单元。

H.1.3 浅海生态系统需要考虑潮间带到水深 10 m 的变化,滩涂养殖区要兼顾海岸带潮间变化情况进行布点。

H.1.4 河流生态系统布点,要考虑支流可能污染源对主干河流的影响。以断面的形式,在支流和主干河流的前后布点。在对湖泊调查时,进入湖泊的水体也就采取该形式布点。

H.1.5 城市生态系统的布点以城市功能区特征为原则,功能区划分不明显的城市,可网格化均匀布点。

H.1.6 道路生态系统,将道路作为线型污染源,在支路进入主干道路附近对支路和主干道路作垂直于道路走向的剖面采样。

H.1.7 各生态系统和研究区域的采样密度视研究内容进行调整。

H.2 采样方法

H.2.1 土壤样品:在布点处用金属铲取土壤表层(0 cm~5 cm)和近表层(5 cm~20 cm)各一件,弃去生物碎片和粗颗粒物,取样品重量约 2 kg;采样时间应该是夏季和冬季各一次;样品用聚乙烯密封袋包装。

H.2.2 水体样品:在断面上,当水深小于或等于 5 m 时,只在所布点的水面下 0.3 m~0.5 m 处采一件样品;水深 5 m~10 m 时,在布点处水面下 0.3 m~0.5 m 处和河底以上约 0.5 m 处各采一件样品;水深 10 m~50 m 时,在布点处设三个采样点,即水面下 0.3 m~0.5 m 处、河底以上约 0.5 m 处和 1/2 水深处;水深大于 50 m 时,应酌情增加采样点数。每件样品的采样量约为 5000 ml,采样时间每年至少两次,即丰水期和枯水期各一次,在有可能的情况下增加一次平水期。样品用玻璃器皿盛装,该玻璃器皿预先经过洗液等清洗并烘干。

H.2.3 大气样品:因有机污染物在大气中可以气态形式存在,也可以吸附于颗粒物中的形式存在,所以大气样品采集应该就条件采集一相,即颗粒相,也可采集两相,即颗粒相和气相。采样方法是:用大流量大气采样器采集,在采集器中串联石英滤膜和聚亚安酯泡沫(polyurethane foam plugs, PUF),石英滤膜在前、聚亚安酯泡沫在后。大气首先通过石英滤膜,将大气中的颗粒物给截留在滤膜上,后通过聚亚安酯泡沫,使气态的有机污染物被吸附在聚亚安酯泡沫上。采样仪器中所有与石英滤膜和聚亚安酯泡沫接触的部分必须用有机溶剂

清洗，石英滤膜预先要经过 450°C 烘烤 4h，聚亚安酯泡沫需要用二氯甲烷抽提 48h。样品采完后，石英滤膜和聚亚安酯泡沫均用广口瓶盛装。该广口瓶预先需用洗液等清洗，后经过 450°C 烘烤 4h 备用。采样时间每年至少 2 次，即夏季和冬季。每件样品的采集时间以 24h 为准。

H.2.4 沉积物样品：在布点处使用小型曙光采泥器（GB17378.7-1998）或用静压取样钻采集沉积物样品，每点分割成 2 个样品，即 0 cm~2 cm 和 2 cm~10 cm。弃去样品中可能存在的生物壳类和生物碎屑，样品重量（湿重）1 kg。用聚乙烯密封袋盛装。

H.2.5 生物体样品的采集：分植物和动物两类。

H.2.5.1 植物样品采集

采集农作物样品时，不要取田埂上或离田埂 2 m 以内的植株，或离肥堆太近的植株作样品；取样点不要紧靠公路和铁路。取水生植物样品时，不要离排污口太近。采样时要注意植物的生长状况及其发育阶段。大田作物可按梅花形法或交叉点法取得代表性样品。植物样品重量最终能得到干重 20 g~30 g 为宜，一般可以新鲜样品约含水 80%~90%来估计。

取全植株样品时要注意根系完整，大的植株可采取按对称轴分取的办法来缩减样品。样品外部所沾的泥土，要用纱布蘸蒸馏水擦洗，不要随使用水洗。清洁干净的样品，若蔬菜类茎叶柔嫩，可用电动捣碎机捣碎，捣碎时，视蔬菜含水情况适当补加一些去离子水；草杆、树叶、树枝等较坚韧的样品可用不锈钢剪刀剪碎，或烘干后放到布袋内揉碎；谷物等籽粒一般都用谷物粉碎机或硬质球磨机磨碎，其粒度以通过 40 目尼龙筛为宜。植物样品，除谷物籽粒可在较高温度烘干外，一般只能在 60°C ~65°C 以下烘干。

H.2.5.2 动物样品的采集

人体样品主要指血液、头发样品。取人体血样应先准备洗净的硬质玻璃小试管。取样时将所取准确体积的样品注入试管，并用聚乙烯塑料薄膜包裹管口，冷冻保存。一般不用抗凝剂，如有必要可用柠檬酸钠抗凝(6mg 柠檬酸钠可抗凝 1mL 血液)。人发样品一般以 2 g~5 g 为宜，要求取枕部 2cm 处头发。取得的头发应洗净、烘干保存。发样先经 1%的洗净剂浸泡，再用一般蒸馏水冲洗干净，最后用去离子水清洗 3 次，于 60°C 烘干。

大个体的动物，以一头作为一个取样单位。在躯干的各部位切取肌肉片合成一个样品，脏器可剔除大血管后，搅碎混匀，分取部分作为样品，或在不同位置切取小块，混合为一个样品，冷冻保存。

长于 15 cm 的大鲜鱼按种类和大小作粗略分类。每条鱼在颈后和肛门后，以及二者之间中心部位各切取一窄段鱼体，混合后成为一个样品。如果只取某一部分，则分取该部分，混

合成一个样品。小的鲜鱼按种类、大小分类，尽快冷藏。如只分析某一部分，则将分离的部分冷藏。分析时在捣碎器内捣成均匀浆质，然后取部分分析。测定有机污染物的样品用有机溶剂萃取，测定金属元素的样品需要进行灰化。

贝类样品分类后，用纯净的自来水冲洗掉泥沙，去外壳，并将贝肉捣碎混匀，分取部分作样品。蛋类、乳类样品也应采取混合样。

H.3 有机污染物样品运输和保存

H.3.1 有机污染物在自然环境中极容易挥发和降解，也极易被环境所污染，所以有机污染物样品在运输和保存中必须采取特别措施。

H.3.2 所有样品在运输过程中都必须避免与高温、有机污染源接触，尽量避光。

H.3.3 动物样品在密封袋密封前，在样品中加入 5 mL 甲醇，以限制细菌的生长。在-20℃的低温冷冻中保存。

H.3.4 液体样品中如果有余氯存在，可在每升样品中加入 90 mg 硫代硫酸钠并混匀。样品在 4℃ 下避光保存。采样后 7 日内进行萃取。

附录 I
(规范性附录)
设计书编写内容及要求

I.1 前言

I.1.1 目的任务

包括任务来源、任务书的主要内容、技术要点、工作起始时间、成果提交时间及预期成果等。

I.1.2 评价区范围及地理条件

包括评价区地理位置、行政区划、自然地理、气象水文、交通条件及社会经济概况等。

I.2 评价区概况及生态地球化学问题

包括评价区区域地质地球化学背景、以往勘查地球化学工作程度、多目标地球化学调查或其他区域地球化学调查(包括区域环境质量调查、区域农业调查和区域生态调查等)结果分析及主要问题评述。

I.3 研究内容

I.3.1 研究内容

依据任务书要求、评价区多目标地球化学调查结果和流域/区带区域生态地球化学评价总体要求,细化异常元素来源追踪、迁移途径研究、生态效应评价和变化趋势及危害程度的预警预测等项内容。

I.3.2 重点问题

论述工作内容中的难点和重点问题及拟采用的解决方案。

I.4 技术路线及工作方法

I.4.1 技术路线

包括技术路线、关键技术和技术创新等。

I.4.2 工作方法

包括工区布置、样品采集、样品加工处理、数据分析、结果整理和成果表达等。

I.5 工作部署

I.5.1 工作部署原则

根据任务书要求,有针对性地阐述总体工作思路和部署原则,说明各项工作间的衔接及关系。

I.5.2 总体工作部署及年度工作部署

说明总体及年度工作安排的主要内容和工作量,当年工作安排要具体。

I.6 实物工作量

为完成目标任务设计的实物工作量，附工作量一览表。

I.7 预期成果及提交时间

I.7.1 预期成果

包括评价报告、图件和或 GIS 系统。

I.7.2 成果提交时间

按照任务书要求，说明成果提交的时间。

I.8 组织机构及人员安排

I.8.1 组织管理

说明项目执行过程中的组织管理方式和组织结构。

I.8.2 项目组成员及分工

包括项目负责人简历、项目组研究基础，列表说明项目组成员姓名、年龄、技术职务、从事专业、工作单位、在项目中的分工和参加项目的工作时间等。

I.9 经费预算

见“地质调查项目设计预算编写要求”，包括编制说明和设计预算表。

I.10 质量保证与安全措施

I.10.1 质量保证措施

说明为保障任务完成而采取的各种质量保证措施，包括野外样品采集、处理过程中采取的措施、样品数据分析过程中的各项质量保证措施和提高工作人员技术水平所采用的技术培训措施等。

I.10.2 安全与劳动保护措施

说明项目执行过程中所采取的各项安全和劳动保护措施。

I.11 设计附图及附表

I.11.1 附图

包括交通位置图、评价区工作程度图(与生态地球化学评价相关的调查工作)、主要元素和指标的调查结果图、工作部署图及其他需要的图件。

I.11.2 附表

评价工作中需要的各类表格。

附录 J
(规范性附录)
区域生态地球化学评价报告编写提纲

J.1 前言

J.1.1 项目来源及任务目标

J.1.2 完成的工作量

J.1.3 主要成果概述

J.2 评价区概况

J.2.1 自然地理、地质、地球化学及矿产资料概况

J.2.2 农业生产、土壤类型、土地利用状况

J.2.3 社会经济及工农业发展概况

J.2.4 多目标地球化学调查发现的生态地球化学问题综述

J.2.5 本次评价工作的重点内容(包括评价元素和指标种类、评价的内容及所研究的生态系统等)、研究思路和方法技术

J.3 工作方法技术及质量评述

J.3.1 区域生态地球化学评价野外工作方法技术及质量评述

J.3.2 样品处理方法、分析测试方法及数据质量评述

J.4 异常元素来源研究

J.4.1 异常元素自然来源研究

J.4.1.1 河流生态系统自然源异常元素来源

J.4.1.1.1 汇水区主要基岩(矿体和地层)异常元素地球化学特征

J.4.1.1.2 汇水区主要基岩(矿体和地层)异常元素表生地球化学行为及来源

J.4.1.2 农业生态系统自然源异常元素来源

J.4.1.2.1 丘陵区不同成土母质异常元素地球化学特征

J.4.1.2.2 丘陵区成土过程及表生地球化学作用过程对土壤元素分布的影响

J.4.1.2.3 运积成土区母岩元素地球化学特征对土壤元素分布的影响

J.4.1.2.4 黄土稀释作用对土壤元素分布的影响(仅限于黄土高原盆地沉积区)

J.4.1.2.5 不同时期黄泛区土壤地球化学特征对比研究(仅限于黄泛区)

J.4.1.3 浅海生态系统自然源异常元素来源

J.4.1.3.1 陆地近源沉积物元素地球化学特征及对海域沉积环境的影响

J.4.1.3.2 陆地远源沉积物元素地球化学特征及对对海域沉积环境的影响

J.4.2 异常元素人为来源研究

J.4.2.1 城市生态系统人为源异常元素来源

J.4.2.1.1 不同污染源(燃煤、冶金、汽车、道路)降尘特征元素

J.4.2.1.2 不同污染物地球化学特征(矿物学、污染物粒径等)及异常元素空间分布

J.4.2.1.3 不同污染源降尘对土壤异常元素分布的影响

J.4.2.2 农业生态系统人为源异常元素来源

J.4.2.2.1 不同污染源(化肥、农药、灌溉水、大气干湿沉降)特征元素

J.4.2.2.2 不同污染源异常元素空间分布特征

J.4.2.2.3 不同污染物异常元素年通量研究

J.5 异常元素迁移途径研究

J.5.1 河流生态系统异常元素迁移途径

J.5.1.1 汇水区主要基岩(矿体和地层)异常元素(在风化剥蚀搬运过程中)迁移途径

J.5.1.2 河水作用下异常元素(在水体、悬浮物和水系沉积物中)迁移途径

J.5.1.3 异常元素的年搬运通量和速率研究

J.5.2 农业生态系统异常元素迁移途径

J.5.2.1 丘陵区成土作用过程中异常元素迁移途径研究

J.5.2.2 丘陵区表生地球化学作用过程中异常元素迁移途径研究

J.5.2.3 运积平原区异常元素迁移途径研究

J.5.3 浅海生态系统异常元素迁移途径研究

J.5.3.1 陆地近源沉积物及元素迁移途径(成土过程和表生各种地球化学作用过程)研究

J.5.3.1.1 不同成土母质成土过程中元素迁移途径研究

J.5.3.1.2 表生各种地球化学作用过程中元素迁移途径研究

J.5.3.2 陆地远源沉积物及元素迁移途径

J.5.3.2.1 元素在陆源输入过程中迁移途径研究

J.5.3.2.2 陆源物质输入速率和年通量研究

J.6 异常元素生态效应评价

J.6.1 农业生态系统生态效应研究

J.6.1.1 农作物安全性评价

J.6.1.1.1 有毒有害元素的生态效应评价

J.6.1.1.2 有益元素生物有效性评价

J.6.1.2 农作物适宜性评估

J.6.1.2.1 农作物对有毒有害元素的抗逆性评价

J.6.1.2.2 农作物的适宜性评估(包括对有益元素丰缺评估)

J.6.1.3 土壤质量评价

J.6.1.3.1 单指标评价

J.6.1.3.2 综合指标评价

J.6.1.3.3 土壤质量综合评价

J.6.2 湖泊湿地生态系统生态效应评价

J.6.2.1 有毒有害元素存在形态的地球化学影响因素研究

J.6.2.2 有毒有害元素在水生生物食物链富集规律研究

J.6.2.3 有机污染物在水生生物食物链中的富集规律研究

J.6.2.4 水生生物污染程度评价

J.6.2.5 水体富营养化程度评价

J.6.3 浅海生态系统生态效应评价

J.6.3.1 有毒有害元素存在形态的地球化学影响因素研究

J.6.3.2 有毒有害元素在水生生物食物链富集规律研究

J.6.3.3 有机污染物在水生生物食物链中的富集规律研究

J.6.3.4 水生生物污染程度评价

J.6.4 城市生态系统生态效应评价

J.6.4.1 放射性污染程度评价(仅限于有放射性污染的城市)

J.6.4.2 大气降尘生态效应评价

J.6.4.2.1 大气降尘重金属对人体危害研究

J.6.4.2.2 大气降尘中有机污染物对人体危害研究

J.6.4.2.3 大气降尘对土壤质量的影响研究

J.6.4.3 酸雨沉降对城市生态系统的危害研究

J.6.4.4 城市土壤质量评价

J.6.4.5 城市饮用水污染程度评价

J.6.4.6 城市其他生态问题评价

J.7 生态系统安全性的地球化学预警预测

J.7.1 河流流域生态系统安全性地球化学预警

J.7.2 农业生态系统安全性的地球化学预警预测

J.7.2.1 重金属年净增量的地球化学预测

J.7.2.1.1 有毒重金属年输入量

J.7.2.1.2 有毒重金属年输出通量

J.7.2.1.3 有毒重金属年净输入量及变化趋势预测

J.7.2.2 元素活化趋势的地球化学预警

J.7.2.2.1 有毒有害元素生态效应变化趋势预警

J.7.2.2.1.1 有毒有害元素存在形态的地球化学影响因素研究

J.7.2.2.1.2 土壤理化性质改变(pH 值)对有毒重金属生物活性影响研究

J.7.2.2.1.3 重金属活化对生态系统危害的地球化学预警

J.7.2.2.2 有益元素生物有效性变化趋势的地球化学预警

J.7.2.2.2.1 有益元素生物有效性影响因素研究

J.7.2.2.2.2 土壤理化性质改变(pH 值和 TOC)对有益元素生物有效性影响研究

J.7.2.2.2.3 有益元素生物有效性对农作物品质和产量影响的地球化学预警

J.7.3 湖泊湿地生态系统安全性的地球化学预警

J.7.3.1 湖积物(有毒元素和有机污染物)年沉积速率研究

J.7.3.2 沉积物有毒元素存在形态及影响因素研究

J.7.3.3 汇水区土壤性质、侵蚀速率变化对沉积物沉积速率影响的地球化学预警

J.7.3.4 湖泊生态系统物化条件(pH 值)改变对水生生物安全性的地球化学预警

J.8 结论与建议

J.9 附图