

寻甸县防雹增雨火箭作业碘化银的影响分析

邓祥¹, 董思平^{1,2}, 鲁敏³, 杨丽¹, 胡卫芬¹, 黄初龙¹, 温可¹, 耿琼^{1*}

¹寻甸县气象局, 云南 昆明

²石林县气象局, 云南 昆明

³南华县气象局, 云南 南华

收稿日期: 2026年4月6日; 录用日期: 2026年5月8日; 发布日期: 2026年5月14日

摘要

寻甸县开展碘化银作为催化剂的人工影响天气试验始于上世纪80年代中后期。采用碘化银火箭弹实施人工增雨防雹作业取得的社会、经济效益显著。为客观评价人工防雹、增雨作业可能影响区域碘化银(Ag⁺)残留变化, 精准评价人工影响天气火箭作业区农田、水体等的生态环境安全。按项目监测规划要求, 采集人工影响天气火箭弹作业核心区、生态对照区和水源地监测样本, 经专业机构检测, 结果得出: 人工防雹、增雨火箭弹作业核心区域土壤样本碘化银(Ag⁺)残留含量平均值0.099 mg/kg, 最高值0.231 mg/kg, 最低值0.041 mg/kg; 2个黑颈鹤保护区从未开展过人工影响天气作业的生态对照监测区土壤样本碘化银(Ag⁺)含量平均为0.189 mg/kg, 最高值0.211 mg/kg, 最低值0.167 mg/kg; 2个水源或径流区土壤样本的碘化银(Ag⁺)含量平均为0.199 mg/kg, 高值0.267 mg/kg, 最低值0.130 mg/kg。2个水源或径流区水体样本中均未检测出含有碘化银(Ag⁺)成分。结论与全国各地开展同类研究成果一致, 即以寻甸县为代表的低纬高原开展人工影响天气作业不会影响到生态和人类健康。

关键词

人工防雹增雨, 火箭弹, 碘化银

Analysis of the Impact of Silver Iodide on Hail Prevention and Rain Enhancement Rocket Operations in Xundian County

Xiang Deng¹, Siping Dong^{1,2}, Min Lu³, Li Yang¹, Weifen Hu¹, Chulong Huang¹, Ke Wen¹, Qiong Geng^{1*}

¹Xundian County Meteorological Station, Kunming Yunnan

²Shilin County Meteorological Station, Kunming Yunnan

³Nanhua County Meteorological Station, Nanhua Yunnan

*通讯作者。

文章引用: 邓祥, 董思平, 鲁敏, 杨丽, 胡卫芬, 黄初龙, 温可, 耿琼. 寻甸县防雹增雨火箭作业碘化银的影响分析[J]. 气候变化研究快报, 2026, 15(3): 521-529. DOI: 10.12677/ccr.2026.153057

Abstract

The artificial weather modification experiments using silver iodide as a catalyst in Xundian County began in the mid-to-late 1980s. The social and economic benefits achieved by using silver iodide rockets for artificial rain enhancement and hail prevention operations are remarkable. To objectively evaluate the changes in silver iodide (Ag^+) residues in the areas that may be affected by artificial hail suppression and rain enhancement operations, and precisely assess the ecological environment safety of farmland, water bodies, etc. in the artificial weather modification rocket operation area. In accordance with the requirements of the project monitoring plan, monitoring samples were collected from the core area, ecological control area and water source area of the artificial weather modification rocket operation, and were tested by professional institutions. The results show that the average residual content of silver iodide (Ag^+) in soil samples in the core area of artificial hail suppression and rain enhancement rocket operations is 0.099 mg/kg, the maximum value is 0.231 mg/kg, and the minimum value is 0.041 mg/kg. The average content of silver iodide (Ag^+) in soil samples of two ecological control monitoring areas for the protection of black-necked cranes, where artificial weather modification operations had never been carried out was 0.189 mg/kg, with the highest value being 0.211 mg/kg and the lowest value being 0.167 mg/kg. The average content of silver iodide (Ag^+) in soil samples from two water sources or runoff areas was 0.199 mg/kg, with a high value of 0.267 mg/kg and a low value of 0.130 mg/kg. Silver iodide (Ag^+) components were not detected in the water samples from the two water sources or runoff areas. The conclusion is consistent with the research results of similar studies carried out across the country, that is, conducting artificial weather modification operations in low-latitude plateaus represented by Xundian County will not affect the ecology and human health.

Keywords

Artificial Hail Suppression and Rain Enhancement, Rocket, Silver Iodide

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

人工影响天气指在一定(适宜)的天气背景条件下,通过人工干预,使天气条件向着符合作业者愿望的方向发展。受全球气候变暖的影响,区域干旱、洪涝和冰雹等极端灾害性天气多发,因气象灾害影响给人类的生产、生活带来的损失越显突出。人们为最大限度地减少气象灾害带来的缺失,人工影响天气作为一种有效的减灾手段,在防雹、增雨抗旱实施中,进一步得到社会的更广泛认可。1946年美国科学家 Schaefer (1946)和 Vonnegut (1947)相继提出,可以在冷云中通过播撒干冰或碘化银(AgI)的方法,适当增加云中的冰晶数量,促使降水的形成,中国的人工影响天气事业将迎来更加广阔的发展空间[1]。2007年12月,由气象科学院牵头组建的中国气象局人工影响天气中心,2007年12月成立,2021年12月21日正式启动运行[2][3],从初期的整合全国资源,重点推动人工增雨(雪)、防雹等防灾减灾业务,逐步走向了强化科技支撑能力,建立森林火灾、污染等突发事件应急作业机制,自主研发云降水数值预报系统及高效催化剂技术,并深化与“一带一路”沿线国家合作[4][5]。2018年,全国30多个省(区、市)开展了人

工影响天气作业,使用飞机 70 架次,高炮和火箭作业点 18,057 个[6],人工增雨作业目标面积可达 $490 \times 10^4 \text{ Km}^2$,人工防雹可影响作业面积 $53 \times 10^4 \text{ Km}^2$ 。云南省的人工影响天气事业属于全国最早的地区之一,1956 年在鹤庆县和镇雄县开展人工防雹取得成功后,人工影响天气事业陆续发展壮大,上世纪 70 年代云南省气象局成立人工控制天气办公室,至今约 70 年[2]。作业手段经历了高炮、火箭弹、飞机、燃烧等手段向云中推送干冰或碘化银(AgI)等的人工影响天气试验,影响面积几乎覆盖全省除少数高寒山区外的大部地区。

随着人工影响天气事业的发展,向空中播撒或推送以 AgI 制剂为主的人工影响天气活动日在全国日趋增多,实施人工影响天气作业可能引起大气和土壤中(Ag^+)离子变化也越来越受到全社会的普遍关注。实施人工影响天气与国家推进美丽中国建设,协同推进降碳、减污、扩绿、增长,推进生态优先、节约集约、绿色低碳发展[3]的相关研究也越来越受到重视。早在 1995 年《山西气象》就刊登了赵国庆[7](译)第六届气象组织人工影响天气科学会议 Ye. L. Potapov 等人《摩尔多瓦共和国防雹地区空气和水中催化剂含量观测及影响分析》;广东吴兑《人工增雨催化剂对环境的影响甚微》讨论了人工增雨催化剂播云后对环境的可能影响[8];山东卢培玉[9]《人工增雨对自然环境的影响探讨》和天津安惠文[10]《人工增雨(雪)所用催化剂对环境和人体健康的影响》引用了美国及我国在山东济南、北京密云水库等地开展人工影响天气作业区域 Ag^+ 含量的监测及对环境和人体造成的伤害;段婧等分析了中国人工影响天气用碘化银催化剂对区域环境影响的研究进展[11],研究结果分析总结了多年来国内外利用 AgI 开展人工增雨(雪)、人工防雹外场试验和业务作业时获得的降水、土壤及湖泊中 Ag^+ 含量,分析评估人工影响天气中 AgI 对水资源和环境可能造成的影响;曹永民等以查阅文献资料方式统计分析了人工增雨对生态环境的影响[12];张晓燕等通过天津周边人工增雨(雪)影响区域 AgI 浓度取样试验与我国现行生活饮用水卫生标准的对照分析[13]。昆明市寻甸县是云南低纬高原地区的典型代表地区,也是开展人工影响天气活动较早地区之一,县域内构造地形复杂、多样,受季风、地理的共同影响气候干湿分明,降水集中、多变,与全国广大地区比,地理和生态特征具有其存在的区域独特性。本研究选择以昆明市寻甸县开展人工影响天气活动作业试验区域,监测作业区土壤中 Ag^+ 含量,分析探究作业区域 Ag^+ 污染对区域环境及人类健康的影响试验,进一步揭示低纬高原地区开展人工影响天气活动对生态和人类健康的影响的独特性意义深远,同时也为研究不同地理气候背景下开展人工影响天气活动对生态和人类健康的影响提供了基础支撑。

2. 实验作业区概况

寻甸县属亚热带低纬度高原季风气候,冬春两季受平直西风环流控制,大陆性季风气候特征明显,干旱少雨;夏秋季主要受太平洋西南气流或印度洋东南暖湿气流控制,具海洋性季风气候特征,潮湿多雨。境内地形高差大,河谷区与高山区气候差别显著,立体气候明显,有“一山分四季,十里不同天”之说。海拔 2400~3000 米地区,气温偏低,霜期较其他地区长,具有亚热带及温带气候特点。多年平均气温 15.3°C ,最热月 6 月气温 20.4°C ,最冷月 1 月气温 8.3°C ,极端最高气温 34.5°C ,极端最低气温 -13.9°C ;年平均降水量约为 1018.8 mm,雨季 5~10 月降水量为 896.4 mm,干季 11 月~次年 4 月降水量为 122.4 mm,月最大降雨量 7 月 214.9 mm,日最大降雨量 141.9 mm;多年年平均日照时数为 2046.6 h;多年年平均蒸发量 1532.8 mm;最大风速 3.3 m/s。寻甸县开展人工影响天气防雹增雨作业与昆明市同步,起步于 1992 夏秋,人工防雹增雨影响天气作业,在技术上基于云物理“竞争理论”,通过向雹云团中播撒碘化银(AgI)催化剂,促使大量人工冰核与自然雹胚争夺过冷水,从而抑制大冰雹生成。催化剂可使雹胚粒径缩小至 5 毫米以下,转化为无害雨滴或软雹,或基于向富含水汽的云层中播撒适当碘化银(AgI)催化剂,影响降水云层的微物理结构变化,增加云中冰晶数量促使降水形成,实现增雨的目的。在实施人工防雹、

增雨作业中，探索运用人工火箭弹推送爆炸技术向云中播撒碘化银(AgI)催化剂来开展实施作业。近几年寻甸县人工影响作业队伍、装备等都得到了较大的提升，队伍的规模、人员的综合素质，火箭发射平台建设，火箭弹用弹量均居全省县级前列。至 2024 年作业范围覆盖了全县羊街、柯渡、先锋、鸡街、甸沙、塘子、金所、功山、七星、河口、倘甸、凤合、金源、联合、六哨、仁德 16 个乡镇，寻甸县共设置人工影响天气防雹增雨作业点 25 个，见图 1。

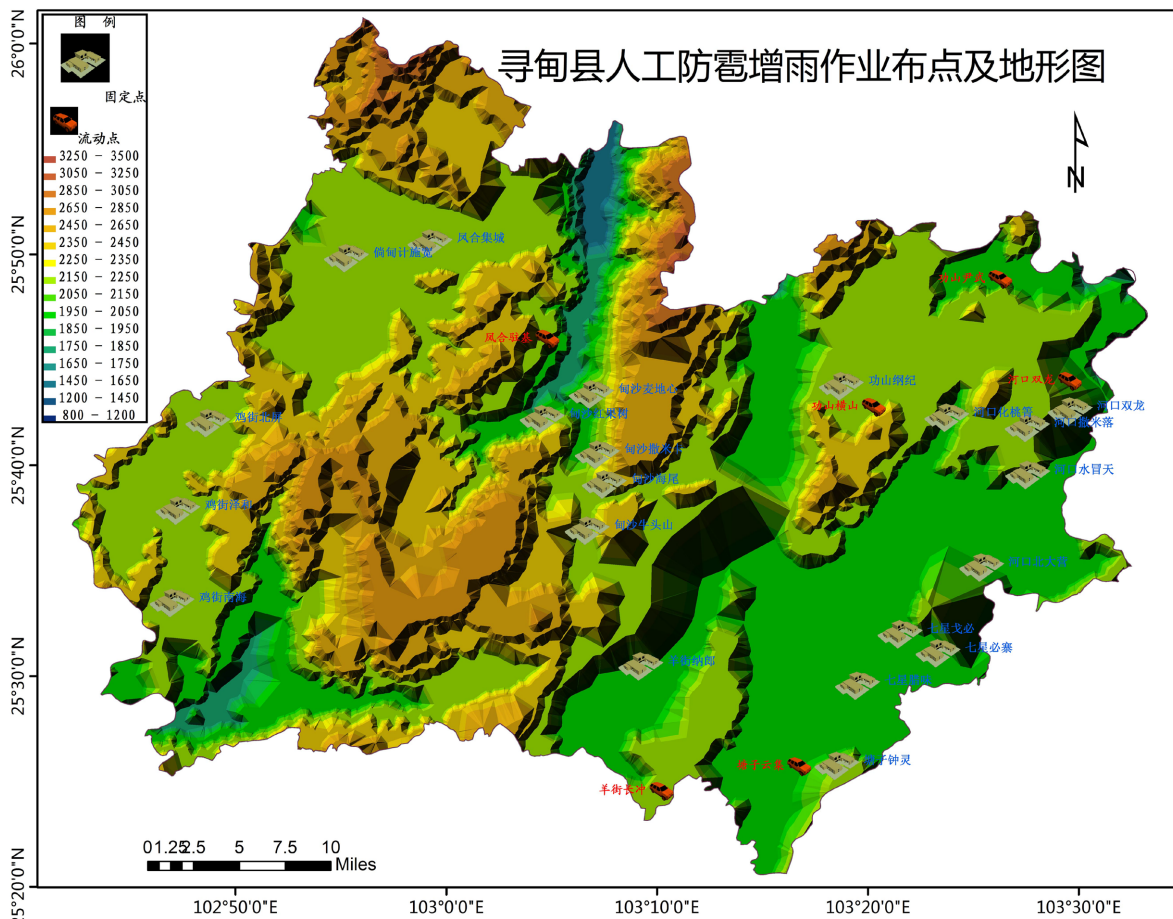


Figure 1. Distribution map of artificial hail prevention and rain enhancement operation sites in Xundian County
图 1. 寻甸县人工防雹增雨作业点分布图

3. 实验技术方案

为实现对寻甸县地面人工增雨防雹火箭作业区域碘化银(Ag⁺)含量监测的客观评价，根据本研究项目立项调查计划、研究目标和评价需求，分别按县域不同的生态、地理环境属性，在全县开展人工影响天气防雹、增雨作业核心区、黑颈鹤保护区(生态对照)区和水源地及径流区设置采样点 10 个碘化银(Ag⁺)含量监测点(监测样本取样点)，见图 2。样本采样严格按《土壤环境监测技术规范》(HJ/T 166-2004)要求，取地 0~20 cm 土壤耕作层(农区)或表层土(保护区)层采样；样本经自然风干、剔除植物残体、玛瑙研磨、过 0.25 mm~0.075 mm 孔径尼龙筛，筛选处理后避光保存；按送检样本质量控制要求，运输空白样全程跟踪送检。碘化银(Ag⁺)含量监测分析，按照《水质 65 种元素的测定电感耦合等离子体质谱法》HJ 700-2014，《区域地球化学样品分析方法第 11 部分：银、硼和锡量测定交流电弧-发射光谱法》DZ/T 0279.11-2016，对送检样品进行银离子含量检测。

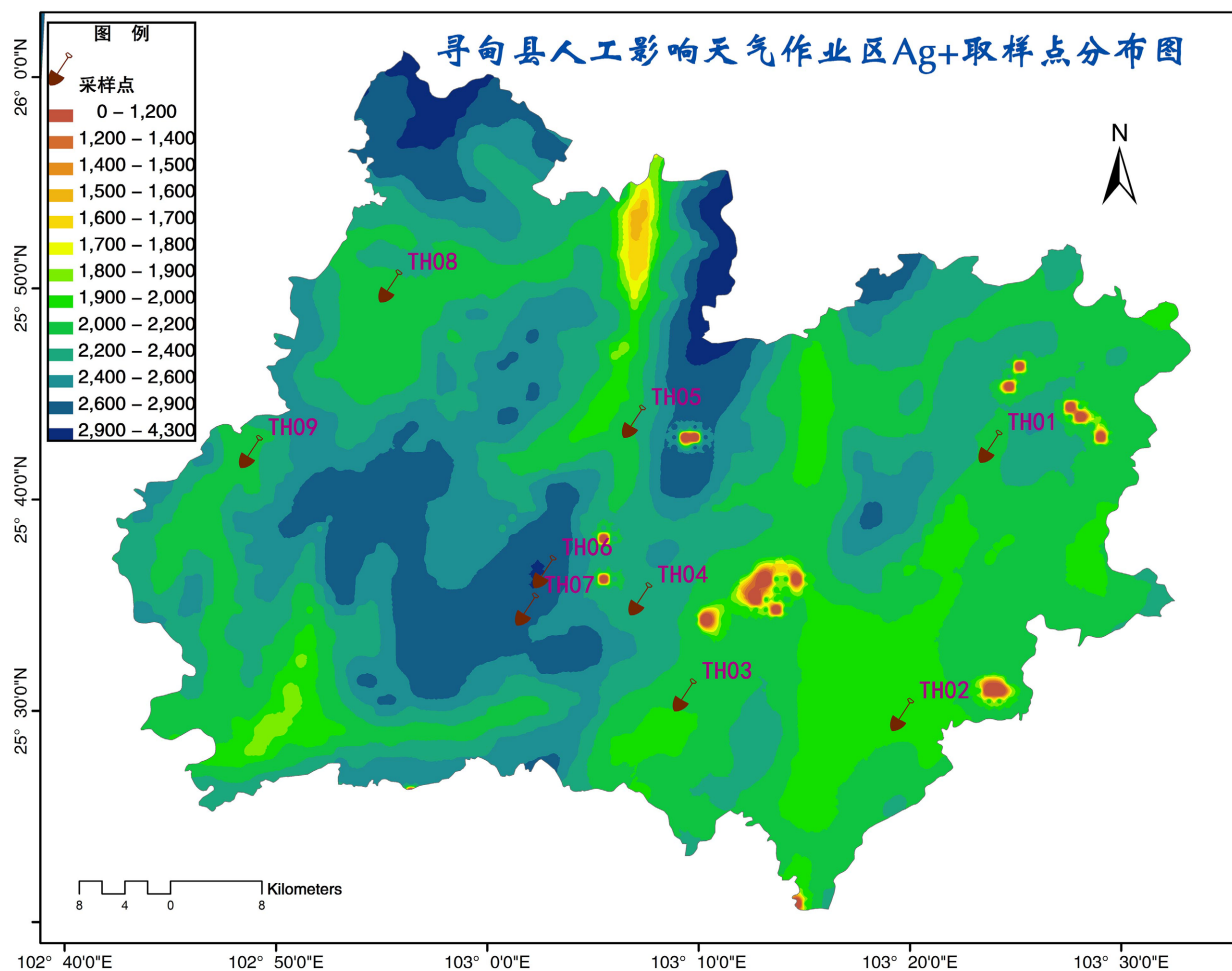


Figure 2. Distribution map of Ag^+ soil sampling points in the artificial weather modification operation area

图 2. 人工影响天气作业区 Ag^+ 土壤取样点分布图

3.1. 监测取样点设置

按立项目标要求, 分别为开展人工影响天气作业时间较早的纳郎作业点采样点 1 个, 作业影响集中区域的化桃箐作业点采样点 1 个, 西北区域计施宽作业点采样点 1 个, 西部区域北屏作业点采样点 1 个, 中部区域麦地心作业点采样点 1 个, 东南区域腊味作业点采样点 1 个和黑颈鹤保护区采样点 2 个, 水源保护区寻甸县清水海采样点 1 个(另附液体水样本 1 份), 禄劝县云龙水库采样点 1 个(另附液体水样本 1 份), 各样本采样点生态土壤、混合样本属性, 见表 1。

3.2. 采样方法及取样

3.2.1. 采样方法

采集表层土, 采样深度 0~20 cm。各采样点土壤制备样品 10 个, 每个送检样品 100 g, 水源保护区水库液体水样本 2 个, 每个 560 ml, 外瓶遮光保存。标签命名: T[土壤]H[混合]-数字; S[水样本]-数字。采集表层土壤并经混合均匀后的土壤样品, 组成混合样的分点数不低于 5 个。以采样点为中心, 在一定范围内, 5 点法开展分样点取土。每个分样点的取土方法与单点样相同, 各分样点应等量取样, 混合后合成 1 份混合样。

Table 1. Attribute table of ecological soil mixed samples and water samples at sampling points in the control areas of artificial weather modification operations and non-operations**表 1.** 人工影响天气作业与非作业对照区取样点生态土壤混合样本、水样本属性表

取样点	海拔 (m)	取土 (cm)	土色	土质	土壤湿度	植物根系	砂砾含量	其它异物	取样点生态描述
TH01	2114	0~20	暗栗色	中壤土	干	少量根系	大量砾石	零星碎塑膜	无污染烤烟农地, 零星树
TH02	1937	0~20	黄棕色	中壤土	干	少量根系	中量砾石	零星碎塑膜	无污染烤烟农地, 零星松树
TH03	2046	0~20	浅栗色	轻壤土	干	少量根系	中量砾石	无	无污染荒地, 浅草, 零星树
TH04	2182	0~20	红棕色	重壤土	干	少量根系	少量砾石	无	无污染。浅草, 松树林地
TH05	2210	0~20	浅棕色	中壤土	干	少量根系	中量砾石	零星碎塑膜	无污染烤烟农地, 无被植物
TH06	2900	0~20	暗棕色	重壤土	潮	大量根系	少量砾石	无	无污染荒地, 浅草地衣
TH07	2700	0~20	暗棕色	重壤土	潮	大量根系	少量砾石	无	荒地, 无污染, 浅草地衣
TH08	2200	0~20	红棕色	重壤土	潮	少量根系	少量砾石	少量碎塑膜	无污染烤烟农地, 零星松树
TH09	2061	0~20	栗色	重壤土	干	少量根系	少量砾石	零星碎塑膜	无污染烟农地, 草, 零星树
TH10	2110	0~20	灰棕色	轻壤土	干	中量根系	少量砾石	无	无污染水源地, 草, 灌木

采样现场由专人填写样品标签和采样记录, 要求字迹清晰、填写规范。样品标签一式两份, 分别置于样品内、外层容器上。标签上包含样品唯一性标识、监测项目和采样日期等信息, 并做好防止标签脱落或破损导致样品混淆措施。离开采样现场前, 要求逐项检查采样记录、样品标签和土壤样品, 发现缺(漏)项和错误时, 应及时补齐更正。

3.2.2. 取样器工具

取样工具类: 铁锹、铁铲、木铲、陶瓷刀具和适合用于特殊采样要求的工具等; 辅助器具: 有木板、有机玻璃板、聚乙烯薄膜、牛皮纸、四分器等。器材类器件: 有 GPS 定位设备、摄像设备、测量工具(标尺、便携电子秤)、样品袋(布袋和聚乙烯袋)等。文具类器材: 有聚乙烯薄膜、牛皮纸、样品标签、采样记录表、铅笔、资料夹等。

3.2.3. 送检样本处理

对取回的混合土壤样本, 按《土壤干物质和水分的测定重量法》HJ613-2011 的要求测定干物质含量。在通风良好、整洁、防酸防碱、无尘、无阳光直射、防止样品交叉污染隔离措施可行和无易挥发性化学物质的临时专用干燥室内做样本的自然干燥处理; 对于干燥后的土壤样品经过粗、细两道研磨, 形成颗粒直径小于 $<0.075\text{ mm}$ 的混合送检样本, 封装成每个采样点 100g 重的混合送检样品。

清水水库和云龙水库水质样品取样严格按照《水质银的测定 3.5-Br-2PADAP 分光光度法》(JH489-2009)和《水质银的测定镉试剂 2B 分光光度法》(JH490-2009)样品采集与保存和试样制备的要求制备送检样品。

4. 样本 Ag^+ 含量分析

云南省烤烟产业年产值超千亿元, 昆明市是云南烤烟核心种植区之一。在云南人工防雹、增雨作业实施中, 碘化银(AgI)作为成冰催化剂, 以成冰阈温高(-4°C)、成核率高($\geq 10^{15}\text{ g}^{-1}$), 且环境风险相对较低被普遍采用。近年昆明市政府为保障烟叶、粮食生产和人畜饮水安全, 每年投入人工防雹、增雨作业经费超亿元。寻甸县是云南省人工防雹、增雨的重点县之一, 县各级财政年投入人工防雹、增雨经费达数百万。近年县人工影响天气中心的软硬件建设得到了大幅提升, 2024 年, 人工影响天气防雹作业点平

台建设已达到 25 个, 实施人工影响天气作业次数达 200 次, 共计发射火箭弹 3000 枚, 人工影响天气火箭弹用弹量居全省前列。本实验项目通过对火箭防雹作业区域土壤碘化银(Ag^+)含量取样监测, 获取多年以来人工影响天气火箭弹作业区域碘化银(Ag^+)残留含量样本资料, 获得昆明水源寻甸清水海水库和径流区水、土壤中碘化银(Ag^+)含量样本数据, 以及对从未开展过人工影响天气作业区, 或受影响较小的黑颈鹤保护区自然环境土壤碘化银(Ag^+)含量样本, 进行综合对比的相关性分析得出寻甸县人工防雹、增雨用弹量与对比落区水域、土壤表层碘化银残留碘化银(Ag^+)含量之间的关系, 正确评估人工影响天气作业的影响具有重要的现实意义。

样本分析

本项目共采集送检土壤样本 10 个, 水体样本 2 个。按项目拟定计划, 在人工防雹、增雨核心作业区(年均作业发射火箭弹 > 50 发)采 6 个样本, 采样点分别是寻甸县河口乡化桃箐作业区取样点(TH-01)、七星乡腊味作业区取样点(TH-02)、羊街镇纳郎作业区取样点(TH-03)、甸沙乡麦地心作业区取样点(TH-05)、倘甸镇计施宽作业区取样点(TH-08)、鸡街镇北屏作业区取样点(TH-09); 对照区 2 个样本采样点分别是黑颈鹤保护区 - 水城称砣石取样点(TH-06)、黑颈鹤保护区 - 横河栖息地取样点(TH-07); 水源地径流区 2 个样本采样点分别是甸沙乡水源地及径流区清水海水库(土壤和水)取样点(TH-4), 禄劝县云龙乡水源地云龙水库(土壤和水)取样点(TH-10)。

项目样本委托云南省核工业二〇九地质大队采用交流电弧 - 发射光谱法(DZ/T 0279.11-2016)方法进行分析。分析仪器为 802W 二米平面光栅摄谱仪, 光栅刻线 1200 条/mm; 激发条件为交流电弧 12 A, 曝光时间 40 s; 特征谱线为 Ag 328.07 nm, 背景校正波长 328.25 nm。

Table 2. Test results of soil mixed samples and aquatic samples in the artificial weather modification operation area and the non-operation control area

表 2. 人工影响天气作业区和非作业对照区土壤混合样本、水属样本检测结果

土壤送样编号	检测编号	分析项目—— ω (Ag) mg/kg	送检样本取样地
TH-01	2505094	0.080	火箭作业核心区
TH-02	2505095	0.065	火箭作业核心区
TH-03	2505096	0.041	火箭作业核心区
TH-04	2505097	0.267	水源地及径流区
TH-05	2505098	0.102	火箭作业核心区
TH-06	2505099	0.167	生态对照区
TH-07	2505100	0.211	生态对照区
TH-08	2505101	0.073	火箭作业核心区
TH-09	2505102	0.231	火箭作业核心区
TH-10	2505103	0.130	水源地及径流区
水样送样编号	检测编号	分析项目—— ρ (Ag) mg/L	送检样本取样地
s-04	2505104	ND	寻甸清水海水库
s-10	2505115	ND	禄劝县云龙水库

样本监测检验结果为: 6 个人工防雹、增雨影响天气核心作业区样本碘化银(Ag^+)含量平均为 0.099 mg/kg, 其中最高值出现鸡街镇北屏作业区取样点(TH-09)样本为 0.231 mg/kg, 最低值出现在羊街镇纳郎

作业区取样点(TH-03)样本为 0.041 mg/kg; 2 个生态对照监测区取样点样本碘化银(Ag^+)含量平均为 0.189 mg/kg, 其中黑颈鹤保护区 - 横河栖息地取样点(TH-07)样本为 0.211 mg/kg, 高于黑颈鹤保护区 - 水城称砣石取样点(TH-06)样本的 0.167 mg/kg; 2 个水源或径流区采样点土壤样本的碘化银(Ag^+)含量平均为 0.199 mg/kg, 其中甸沙乡水源地及径流区清水海水库取样点(TH-4)土壤样本碘化银(Ag^+)含量为 0.267 mg/kg, 显著高于禄劝县云龙乡水源地云龙水库取样点(TH-10)土壤样本碘化银(Ag^+)含量为 0.130 mg/kg。送检的 2 个水体样本中均未检测到含有碘化银(Ag^+)成分, 见表 2。

5. 结论和讨论

5.1. 结论

寻甸县近 20 年开展人工防雹、增雨火箭弹作业核心区域土壤样本碘化银(Ag^+)残留含量平均值 0.099 mg/kg, 最高值 0.231 mg/kg, 最低值 0.041 mg/kg; 2 个黑颈鹤保护区从未开展过人工影响天气作业的生态对照监测区土壤样本碘化银(Ag^+)含量平均为 0.189 mg/kg, 最高值 0.211 mg/kg, 最低值 0.167 mg/kg; 2 个水源或径流区土壤样本的碘化银(Ag^+)含量平均为 0.199 mg/kg, 高值 0.267 mg/kg, 最低值 0.130 mg/kg。2 个水源或径流区水体样本中均未检测出含有碘化银(Ag^+)成分。上述分析结论, 10 个土壤检测样本的碘化银(Ag^+)含量均落在云南土壤银背景值范围(0.07~0.40 mg/kg) [14]-[16], 2 个水源或径流区水体样本中均未检测出含有碘化银(Ag^+)成分。检测分析结论证明了寻甸县近 20 年开展人工防雹、增雨火箭弹作业区碘化银(Ag^+)含量与从未开展过人工影响天气作业区土壤中碘化银(Ag^+)含量无差别, 结论与全国各地开展同类研究成果一致[17], 即以寻甸县为代表的低纬高原开展人工影响天气作业不会影响到生态和人类健康。

5.2. 讨论

本研究检测数据与国内外结论一致, 验证了寻甸县多年运用 AgI 催化剂开展人工影响天气作业对土壤和水体等、生态环境的影响的风险极低。碘化银具极低溶解度($K_{sp} = 8.3 \times 10^{-17}$), 在土壤中主要以 AgI、 Ag_2S 等稳定形态存在。光照下虽可分解为 Ag^+ 与 I^- , 但 Ag^+ 易与有机质羧基、黏土矿物硅氧烷键结合, 形成固定态复合物[18] [19]; 最新研究发现, *Pseudomonas* 等土著菌群可通过氧化还原反应将 Ag^+ 转化为单质银或硫化物[5]。模拟表明, <5%的沉降银离子可进入水体迁移[20]。

国际上人工影响天气催化剂主要有致冷剂、吸湿性催化剂和 AgI 类催化剂三大类。AgI 广泛应用于人工影响天气作业始于 60 年代, 中国、美国、瑞士和阿根廷等国家都相继开展了相关的试验。虽各地的试验得到的结果很不一致, 有些得出无效或效果不佳的结论, 部分试验则得出人工防雹使雹灾减少了 30%~70%的结果。当下人工防雹仍处在试验研究阶段, 人工影响天气概念的提出, 是基于人类为了生产和生活的需要, 希望通过人为干预以防止或减轻由恶劣天气引起的自然灾害(如干旱、冰雹、雷电、暴雨等), 在适当条件下, 促使天气向有利于人类需要的方向发展[21]。随着人类文明进步和社会发展, 人们对天气的敏感性、脆弱性等的探究将产生更强的驱动力。

基金项目

中国气象局 - 成都信息工程大学人工影响天气联合研究中心开放课题(2024GDRY014); 云南省高原特色农业气象服务体系建设项目“基层气象服务能力提升 2018”(Gy2016)。

参考文献

[1] 环球网. 中国气象局人工影响天气中心成立 用科技防灾减灾[EB/OL].

- <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1719736637022109150&wfr=spider&for=pc>, 2021-12-21.
- [2] 沈兆发. 云南人工影响天气防灾减灾有特色发展快[C]//中国气象学会人工影响天气委员会. 第十五届全国云降水与人工影响天气科学会议论文集. 北京: 气象出版社, 2018: 31-33.
- [3] 王广河, 金德镇, 崔宏. 人工影响天气技术与应用[M]. 北京: 气象出版社, 2012: 89-95.
- [4] 中国气象局人工影响天气中心 2022 年补充招聘高校应届毕业生[EB/OL].
https://mp.weixin.qq.com/s?_biz=MzIwMDQ5ODM0Ng==&mid=2651029222&idx=2&sn=bcf1adea434b99825394cf932e4ce1b5&chksm=8d0b9323ba7c1a355dff0368f73ee2f8ca3acf3d2e45f665bf8a25c90746ca1e3551c9cf1e34&scene=27, 2022-03-03.
- [5] 中国气象局人工影响天气中心正式启动[EB/OL].
https://www.cma.gov.cn/2011xwzx/2011xqxxw/2011xqxxyw/202112/t20211221_589354.html, 2021-12-21.
- [6] 中国气象局人工影响天气中心公开招聘博士后研究人员公告[EB/OL].
<https://bj.jrzp.com/shiyezhaopin/097787CCB294478E.shtml>, 2024-11-21.
- [7] 赵国庆. 防雹地区环境污染的研究[J]. 山西气象, 1995, 2(31): 12-13.
- [8] 吴兑. 人工增雨催化剂对环境的影响甚微[J]. 广东气象, 2005(3): 16.
- [9] 卢培玉. 人工增雨对自然环境的影响探讨[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(3): 374-376.
- [10] 安惠文. 人工增雨(雪)所用催化剂对环境和人体健康的影响[J]. 天津农业科学, 2014, 20(4): 112-114.
- [11] 段婧, 楼小凤, 汪会, 等. 人工影响天气用碘化银催化剂对区域环境影响的研究进展[J]. 气象, 2020, 46(2): 257-268.
- [12] 曹永民, 古康乐, 李念. 基于人工增雨对生态环境的影响研究[J]. 环境科学与管理, 2021, 46(4): 151-154.
- [13] 张晓燕, 裴子永, 张孟琪, 等. 天津地区人工增雨(雪)用 AgI 催化剂对环境影响的探讨[J]. 天津科技, 2024, 51(7): 105-107.
- [14] 中华人民共和国生态环境部. GB 15618-2018 土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准[S]. 北京: 中国环境集团出版社, 2018.
- [15] 中华人民共和国生态环境部. GB 36600-2018 建设用地土壤污染风险管控标准[S]. 北京: 中国环境集团出版社, 2018.
- [16] 中国疾病预防控制中心. GB 5749-2022 生活饮用水卫生标准. 北京: 中国标准出版社, 2022.
- [17] WMO (2023) Environmental Impact of Weather Modification. Technical Report No. 269.
- [18] 中国科学院西北生态环境资源研究院, 青海省气象灾害防御技术中心. 一种人工影响天气作业后降水中银离子含量的检测及分析方法[P]. 中国专利, 202411871058.8. 2025-12-19.
- [19] Zhu, X., Jia, M., Zhou, W., Zhou, P., Du, Y., Yang, H., *et al.* (2025) Biochar Loaded with Nicotine-Degrading Bacteria Works Synergistically with Native Microorganisms to Efficiently Degrade Nicotine. *Environment International*, **201**, Article ID: 109550. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2025.109550>
- [20] 李集明. 专家深入论证: 关注人工影响天气同生态环境关系[N]. 人民日报, 2018-09-29(09).
- [21] 孙健敏. 空中水库, 造福神州[N]. 文汇报, 2003-04-15(009).