

人工增雨影响因子性能探讨

卢培玉 (山东省人工影响天气办公室, 山东济南 250031)

摘要 国内外大量人工增雨试验证明, 增雨作业效果已得到科学验证, 人工增雨在我国已趋于业务化。分析了人工增雨作业催化剂性能特点; 探讨了人工增雨常用催化剂 AgI 对生态环境的影响, 人工增雨对下游地区的影响, 及人工增雨炮弹和火箭弹碎片对环境的影响。通过数据分析, 人工增雨能有效改善生态环境, 催化剂不会对环境造成污染, 上游增雨不会减少下游的雨水量, 提出了要充分利用人工增雨手段, 开发空中水资源, 以缓解水资源短缺的状况。

关键词 人工增雨; 影响因子; 性能

中图分类号 S161.6 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)35-13623-03

On the Performances of Artificial Precipitation Impact Factors

LU Pei-yu (Shandong Weather Modification Office, Jinan, Shandong 250031)

Abstract Effect of precipitation enhancement operations has already been proved by numerous artificial precipitation experiments in China and abroad, artificial precipitation has been popularized in China. This paper analyzed performances of catalytic agents in precipitation enhancement operations, explored the influence of AgI, a commonly-used catalytic agent, on ecological environment, influence of artificial precipitation on the lower reaches, and also impact of fragments of artificial rain shells and rocket bombs on environment. According to data analysis, artificial precipitation can improve ecological environment effectively, catalytic agents will not cause environmental pollution, artificial precipitation in the upper reaches will not influence rainfall in the lower reaches. Artificial precipitation should be fully used to develop aerial water resources and relieve shortage of water resources on the earth.

Key words Artificial precipitation; Impact factor; Performance

人工增雨作业主要是利用高炮、火箭和飞机向空中撒播增雨催化剂, 在一定温度和湿度条件下形成人工冰晶, 冰晶通过冰水转化效率较高的蒸-凝过程, 在混合云中形成雪晶, 雪晶在下落过程中通过与冷云滴碰冻结增长, 并可在暖区融化, 再经过重力碰并进一步形成较大的雨滴, 达到增雨的目的^[1]。最近几年我国的人工增雨快速发展, 全国各省(市、区)均开展了人工增雨作业。2010年, 用于人工增雨作业的炮弹 7 211 个, 火箭发射架 5 200 部, 从事人影作业人员已达到 4.1 万多, 各地租用增雨飞机 40 架。每年用人工增雨的炮弹 80 余万发, 火箭 8 万余枚, 飞机作业 600 架次。面对如此大的作业规模, 人工增雨对环境的影响引起社会的普遍关注, 人工增雨催化剂会不会对环境造成污染? 人工增雨炮弹和火箭弹增雨后弹体是如何落到地面, 会不会对地面安全造成影响? 上游增雨会不会减少下游增雨的雨水量? 所以科学评估人工增雨作业的综合效果, 重视人工增雨对生态环境和地面安全的研究^[2], 是气象部门亟待解决的问题。

1 人工增雨催化原理

目前, 我国开展人工增雨, 大多是对冷云进行催化, 冷云降水一般要求云中冰晶数达到 10~100 个/L, 而冷云自然核化的冰晶数一般低于上述数值。在这种情况下, 可以播撒人工冰核, 弥补云中冰晶数浓度的不足, 以加速冰水转化, 提高降水效率。人工增雨就是利用高炮、火箭和飞机等作业工具, 在有效范围内施放适用的催化剂, 充分借助自然规律, 因势利导, 将催化剂采用不同的方法播撒在云顶温度处于 -10~-24℃ 的云层中, 增加云中冰晶数浓度, 提高降水效率^[3]。

高炮增雨原理是通过向空中发射人工增雨炮弹, 每发炮弹携带 1 g AgI 催化剂, 炮弹通过延时引信在发射 13~17 s 后, 空中爆炸, 通过爆炸向预定的发射高度施放人工增雨催化剂。火箭增雨原理是利用火箭发射装置向空中发射人工增雨火箭弹, 每发炮弹携带 10~36 g AgI 催化剂, 火箭弹的催化剂播撒过程与炮弹有所不同, 发射后 13 s 开始播撒, 在飞行过程中连续播撒 12~14 s, 有效播撒距离 3 km。飞机增雨机动性强, 空中飞行播撒距离长, 可连续飞行 3~5 h, 催化剂用量可达 100~150 g/h。飞机增雨受地形和空中因素影响较大, 考虑到飞行和作业人员的安全, 飞机增雨作业计划方案的设计要作到周密安全。

2 人工增雨催化剂性能特点

催化剂的种类很多, 按对不同类型的云催化原理可分为冷云催化剂和暖云催化剂。AgI、干冰等是冷云催化剂, 适用于温度低于 0℃ 冷云进行催化; 盐粒、硝酸铵等是暖云催化剂, 适用于对温度高于 0℃ 的暖云进行催化。目前, 我国人工增雨主要是对冷云进行催化, 1946 年美国学者 Vonnegut 发现, AgI 可作为高效冷云催化剂^[4]。因其晶形与冰晶一样, 均为六方形, 十分接近, 被作为人工冰核使用。AgI 具有亲水性, 易溶于添加增溶剂的丙酮溶液中。

当使用增雨工具将 AgI 催化剂带入云中预定位置在云中爆炸燃烧时, 会产生大量的微粒小于 1 μm 的人工冰核气溶胶^[5], 在空中温度在 -7.5~-20℃ 时均可达到 10¹⁵ 个/g, 它可以作为人工增雨的冰核, 促使云中水汽凝结核-冻结的冰水转化过程, 再借助水滴的自然碰并等过程, 达到增雨的效果。根据 AgI 成核率的特点, 对云顶温度在 -15~-20℃ 的云进行作业, 效果最好。Bigg 等对南非和澳大利亚人工增雨统计发现, AgI 的持久效应还表现在它的二次成核作用。AgI 具有持续效应^[6]。Demott 在云室中测定 AgI 的活化能力

基金项目 山东省气象局科研课题(2012sdqx07; 2013sdqx20)。

作者简介 卢培玉(1968-), 男, 山东莒县人, 工程师, 从事人工影响天气研究。

收稿日期 2013-10-20

维持 20~30 min,而云中测定发现 10% 的核在 90 min 以后仍具活性。由于 AgI 具有连续核化作用,因此采用 AgI 增雨作业既可增加作业时间,又可减少局地播撒量。

3 催化剂对环境效应

在常用人工增雨的催化剂中,像干冰、液氮气化后成为二氧化碳和氮气,是空气的组成部分。各类吸湿性催化剂来源于天然物质,不会对环境造成污染。目前,我国人工增雨常用催化剂是 AgI,1 枚高炮炮弹只含有 1 g AgI,1 枚火箭弹含 10~36 g AgI,飞机飞 1 个架次所用的 AgI 在 300~500 g,AgI 催化剂 1 km² 所播撒的剂量仅仅为十分之几克到几十克,其单位面积的含量微乎其微。2011 年 2 月 9~10 日,山东人工影响天气办公室组织了大规模飞机人工增雨作业,燃烧了 1 000 多发 AgI 烟弹,每发烟弹约含 3 g AgI。此次作业区面积约 7.5 万 km²,1 km² 使用的 AgI 仅为 0.04 g,通过对增雨区济南卧虎山水库的检测,与作业前检测相比较,Ag⁺ 浓度值相对降低,作业后水库入库水量增大,稀释了 Ag⁺ 的浓度,Ag⁺ 浓度为 0.07 μg/L,远远低于国家关于饮用水 Ag⁺ 浓度不大于 50 μg/L 的标准^[7]。专家对密云水库、官厅水库区域进行较频繁的蓄水型人工增雨作业,每半年对水库水体进行检测的数据显示,基本上随着水库蓄水量的增大,Ag⁺ 浓度值降低^[8]。美国、前苏联等国家监测发现,长期进行人工增雨作业的区域在水体和土壤中累积的 Ag⁺ 仍不超过卫生标准^[9-10]。从短期和长期来看,增雨催化剂不会对环境和人体造成伤害。

4 人工增雨炮弹和火箭弹碎片对环境的影响

人工增雨炮弹作业时,一般发射高度是 5 km 左右,发射点火的同时启动弹体引爆延时引信,延时引信在 9~13 s 内引爆弹体。人工增雨炮弹的生产受制造技术的制约,人工增雨炮弹的引信发火率按目前行业规定要求是 97%^[11]。虽然 97% 的炮弹按照要求在空中爆炸,同时 AgI 催化剂燃烧发挥增雨作用,最大弹丸破片仅 <50 g,但由于存在 3% 的炮弹瞎火率,也就是说,发射 100 发人工增雨炮弹就可能会有 3 发炮弹的弹丸在空中不爆炸而掉落到地面,而弹丸的质量是 0.722 kg,从 5 km 的高空落下,会给地面人员和财产安全造成很大的安全隐患。人工增雨火箭弹也面临同样的问题,增雨火箭弹发射后弹体在不低于 3 000 m 高度自毁,残骸 ≤100 g,落地速度 ≤8 m/s 的速度安全着陆^[12-13],同样也存在 1% 的火箭弹瞎火率。

为了解这个问题,山东省人工影响天气办公室对人工增雨使用的高炮和火箭发射架作业射界进行了规范,要求作业点必须要有高炮和增雨作业的安全射界,严格在安全射界内作业(图 1、2)。图 1、2 中蓝色部分是根据高炮火箭发射高度和角度测算出的地面上空旷地带,要求作业时,在固定的作业点,按设计好的角度和方位进行作业,这样会把碎片及瞎火弹的危害降到最低程度。

5 人工增雨对下游的影响

人工增雨影响区域范围受催化云移动、云内湍流大小等多种微物理过程影响^[14]。遇到大范围降水过程,云中含有

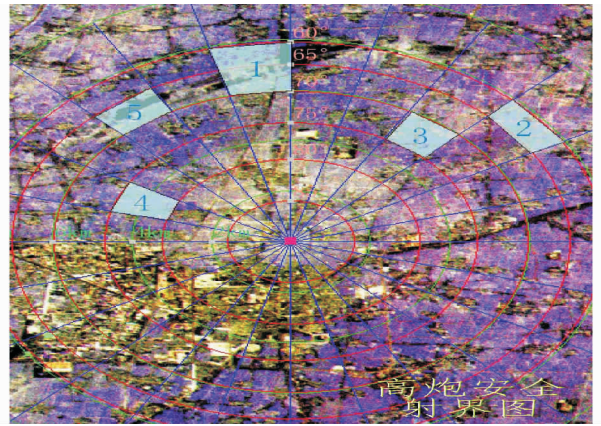


图 1 高炮安全射界

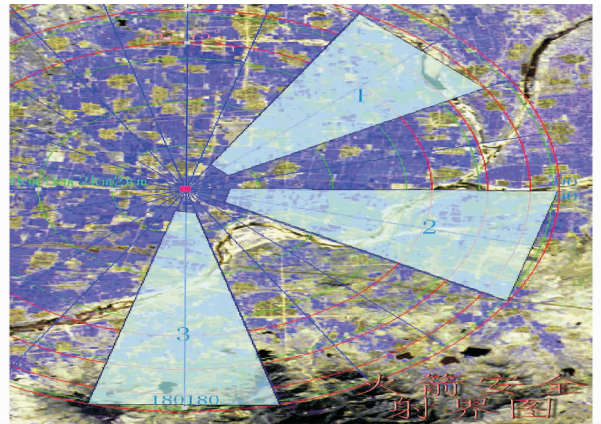


图 2 火箭安全射界

水汽是不断补充的,云系随上升气流的变化而不断更新,每次的降雨过程云中的水汽是充足的,降下的雨量只是大气中水汽的一小部分,而人工催化的增雨量只占总降雨量的 15% 左右,所以人工增雨对云系中的水汽能量的影响是很小的。实际上,在一定距离之外,下游降水的云体往往不是上游催化的云体。从雷达回波上更可以看到云带是由较小的云体组成,云体都在不断生消更新,所以它不会像河水那样,上游截留,下游就会减少。美国加利福尼亚州的气象专家组织了人工增雨随机试验,检验上游增雨对下游雨量的影响,结果表明:在人工增雨催化区的增雨量不影响下游降雨量变化。

6 人工增雨能有效改善生态环境

人工增雨能有效改善生态环境,提高生态效益的建设,人工增雨受到社会的普遍关注。现代社会由于人类对环境的影响越来越深,有些地区突发性干旱较早突出,在适当的条件下,实施人工增雨,能有效改善生态环境,尤其对农业的生产增收、农业和稳定起到至关重要的作用。农业生态环境关系到国民经济的发展和社会稳定,确定环境安全,才能确保农业的可持续发展,有效加强生态效益的建设。

青海省气象部门从 2005 年起开始在三江源地区实施人工增雨作业,已取得明显成效,这一地区降水量明显增加,生态环境趋向良性发展态势。湖泊面积、牧草产量和三大江河径流量都有所增加。从湖泊面积增大来看,三江源地区人工增雨增加了水体面积。三江源地区草地覆盖度总体变化比

较明显,高覆盖度草地面积增加了 2.3 万多 km²,朝着良性态势发展。2009 年 10 月,第十一届全国运动会前,山东省人工影响天气办公室连续组织了旨在改善济南生态环境人工增雨作业,运动会开幕前组织了 3 架次的飞机增雨作业,运动会主会场相关高炮和火箭作业点实施了增雨作业,降低了污染指数,净化了城市空气质量。

7 结语

通过对增雨催化剂性能特点分析,由于催化剂使用是微量的,通过对催化增雨区 Ag⁺浓度的检测,增雨区 Ag⁺浓度远远低于 50 μg/L 的国家标准,增雨催化剂不会对环境造成影响;人工增雨对环境的影响是多方面的,对减轻农业旱情是显而易见的,对生态环境的影响是一个深远的过程。人工增雨炮弹和火箭碎片对环境的影响越来越引起人们的重视,要确保在安全射界内作业,要充分利用人工增雨作业,开发空中水资源,有效缓解水资源短缺,改善生态环境。

参考文献

[1] 中国气象局科技发展司. 人工影响天气岗位培训教材[M]. 北京:气象

出版社, 2003: 47-48.

- [2] 肖劲松,毛锋,邱晓玫. 人工增雨与空中水资源的合理开发[J]. 云南环境科学,2006,25(1):12-13.
- [3] 章澄昌. 人工影响天气概论[M]. 北京:气象出版社, 1992: 204-207.
- [4] VONNEGUT T B. The nucleation of ice formation by silver iodide[J]. J Appl Phys, 1947, 18(7): 593-595.
- [5] 鄂大雄,陈汝珍,蒋耿旺,等. 高效碘化银焰火剂及其成冰性能的研究[J]. 气象学报,1995,53(1):85-86.
- [6] BIGG E K, TURTON E. Persistence effects of cloud seeding with silver iodide[J]. J Appl Meteor, 1988, 27(5): 505-514.
- [7] 金银龙. 生活饮用水水质卫生标准[S]. 北京:中国标准出版社, 1992.
- [8] 赵习方,张蕾,赵淑艳. 人工增雨对密云水库 Ag 等化学组成影响研究[J]. 气象科技,2008,36(4):468-472.
- [9] 赵习方. 汛期密云水库水质中 Ag 变化特性分析[J]. 气象,2008,36(S1):290-291.
- [10] 申亿铭. 云中催化剂的扩散[M]. 北京:气象出版社, 1994: 120-134.
- [11] 马官起,王洪恩,王金民,等. 人工影响天气三七高炮实用教材[M]. 北京:气象出版社, 2005: 208-209.
- [12] 卢培玉,孙建东,盛日锋,等. BL-1A 增雨防雹火箭系统安全使用探讨[J]. 山东气象,2010,26(7):383-384.
- [13] 马官起,任宜勇,王金民,等. 增雨防雹火箭作业系统实用教材[M]. 北京:气象出版社, 2008: 12-16.
- [14] 张维祥,姜伟平. 农业抗旱型人工增雨效益评估[J]. 中国农学通报, 2007,23(4):453-454.

(上接第 13530 页)

力强于直根型苜蓿。而根茎型苜蓿由于具有能形成地下茎并且在主根死后能够与母株分离而存活的能力,因此其也有较强的抗寒能力。还有研究显示,根粗与抗寒性具有明显的相关性,随着苜蓿根增粗,抗寒性增强。

3 秋眠性与紫花苜蓿抗寒性的关系研究进展

在我国北方从 9 月中旬开始,随着外界环境条件的变化,气温开始逐渐降低,日照时间逐渐变短,霜降来临,促使一些苜蓿品种进入秋眠时期。由于苜蓿通过秋眠来抵御寒冷环境,因此苜蓿的秋眠性与其抗寒性关系密切。冷胁迫环境条件下,苜蓿的秋眠性与抗寒性呈正相关关系,苜蓿品种抗寒性越强秋眠性越强。Cunningham 等研究表明,秋眠型苜蓿品种在秋季生长缓慢且能长出短且匍匐的茎,因此抗寒性较强,而非秋眠型品种不具有这种特性^[14]。但也有研究表明,苜蓿的秋眠性与抗寒性没有直接关系。Brummer 等研究表明,苜蓿的秋眠性和越冬抵御严寒能力之间没有明显的遗传相关性,反而存在着微弱负相关关系^[15]。

4 苜蓿抗寒性育种研究进展

在国外,RFLP、RAPD 及 SSR 等分子标记技术手段在苜蓿抗寒育种研究中得到了广泛的应用,转基因工程在苜蓿的抗寒性研究方面已经取得了很大的突破。我国苜蓿育种与国外存在较大差距,但近年来,我国育种学家们高度重视分子生物学在苜蓿育种上的应用。夏兰芹等研究并总结出了分子标记辅助育种和种质渐渗研究、遗传连锁图谱绘制、种质鉴定和遗传多样性在苜蓿抗寒育种方面的应用,为苜蓿抗寒育种提供了有效的途径^[16]。

5 展望

对于紫花苜蓿抗寒性的研究,目前主要集中在对各种生理生化指标与抗寒性关系上的研究,虽然不同指标与抗寒性关系逐渐明朗,但仍然存在许多问题需要解决。随着科学技

术的不断进步,研究者们也正在朝着分子水平上进军,并已经取得了一定的研究进展。今后,应采用转基因等分子生物技术并与田间实际生产条件相结合,进一步明确紫花苜蓿的抗寒性生理生化机制,进而解决苜蓿越冬率低、产量低和品质差等重要问题。

参考文献

- [1] 邓雪柯,乔代蓉,李良,等. 低温胁迫对紫花苜蓿生理特性影响[J]. 四川大学学报:自然科学版,2005,42(1):190-194.
- [2] 梁慧敏,夏阳,梁月香. 碳水化合物含量和过氧化物酶活性变化与苜蓿耐寒性的关系[J]. 甘肃农业大学学报,1995,30(4):307-311.
- [3] DHONT C, CASTONGUAY Y, NADEAU P, et al. Alfalfa root carbohydrates and regrowth potential in responses to fall harvests[J]. Crop Sci, 2002, 42: 754-765.
- [4] CASTONGUAY Y, NADEAU P, LECHASSEUR P. Differential accumulation of carbohydrates in alfalfa cultivars of contrasting winter hardiness[J]. Crop Sci, 1995, 35: 509-516.
- [5] 陶雅,孙启忠. 不同紫花苜蓿品种可溶性糖、全氮、丙二醛含量动态变化及其与抗寒性关系研究[J]. 中国农业科技导报,2008,10(S1):56-60.
- [6] 陶雅,孙启忠,李峰,等. 氨基酸与苜蓿抗寒性[C]//中国草学会饲草生产委员会第 15 次饲草生产学术研讨会. 常州:中国草学会饲草生产委员会,2009.
- [7] 韩瑞宏,卢欣石,余建斌,等. 苜蓿抗寒性研究进展[J]. 中国草地,2005, 27(2):60-64.
- [8] 罗新义,冯昌军,李红. 低温胁迫下肇东苜蓿 SOD、脯氨酸活性变化初报[J]. 中国草地,2004,26(4):79-81.
- [9] 冯继红,杨文杰,李淑云. 不同品种紫花苜蓿耐寒性的研究[J]. 东北师范大学学报:自然科学版,1995(2):102-105.
- [10] 马春萍,宋丽萍,崔国文. 紫花苜蓿耐寒生理指标的比较研究[J]. 黑龙江畜牧兽医,2006(6):47-48.
- [11] 冯昌军,罗新义,沙伟,等. 低温胁迫对苜蓿品种幼苗 SOD、POD 活性和脯氨酸含量的影响[J]. 草业科学,2005,22(6):29-32.
- [12] GERLOFF E D, RICHARDSON T, STAHMANN M A. Changes in fatty acids of alfalfa roots during cold hardening[J]. Plant Physiol, 1966, 41(8):1280-1284.
- [13] 魏臻武,王德贤,贺连昌. 超氧化物歧化酶在苜蓿抗寒锻炼过程中的作用[J]. 草业科学,2006,23(7):15-18.
- [14] CUNNINGHAM S M, VOLENEC J J, TEUBER L R. Plant survival and root and bud composition fall dormancy[J]. Crop Sci, 1998, 38:962-969.
- [15] BRUMMER E C, SHAH M M, LUTH D. Reexamining the relationship between fall dormancy and winter hardiness in alfalfa[J]. Crop Sci, 2000, 40:971-977.
- [16] 夏兰芹,郭三堆,蒋九泉. 分子标记技术及其在苜蓿遗传育种研究中的应用[J]. 中国草地,2000(3):66-69.