

干旱气象文集

(兰州干旱气象研究所编)

气象出版社

干旱气象文集

兰州干旱气象研究所编

气象出版社

内 容 简 介

本文集选编了干旱气象研讨会上录用的21篇论文。主要包括：国内外干旱气象研究开展情况介绍；干旱气候的变化、成因以及防御对策的研究；干旱气象的研究方向、途径和方法的探讨；干旱半干旱地区的农业气象研究；干旱区气候分析等方面内容。

本文集可供气候、农业气象、大气探测和大气物理等气象科技人员及大专院校师生参考。对农林、水利、冰川、沙漠等有关业务、科研单位也有一定参考价值。

干旱气象文集

兰州干旱气象研究所 编

责任编辑 陈云峰

*

气象出版社出版

(北京西郊白石桥路46号)

*

国防科工委印刷厂印刷

气象出版社发行 各地新华书店经售

开本：787×1092 1/16 印张：8.75 字数：212千字

1989年5月第一版 1989年5月第一次印刷

印数：1—1000 定价：4.60元

ISBN7-5029-0224-4/P·0139

前 言

近年来,随着人类生产活动的发展和科学认识的提高,干旱问题作为世界性的问题而引起人们的广泛关注。全球干旱、半干旱土地面积约占陆地35%,而我国是世界上主要的干旱国家之一,干旱、半干旱土地约占全国总面积的47%,这一醒目的数字告诉了在我国进行干旱气象研究和防御干旱灾害的重要性。特别是我国干旱、半干旱土地的83%又集中在西北地区,在大力开发大西北经济建设即将飞速发展的时候,干旱缺水更趋明显地成为主要限制性因素。

人类的某些活动,尤其是违背生态平衡规律的一些现代经济活动的影响,更加加剧了某些地区干旱化的发展。气候干旱化、土地沙漠化成为当前所面临的重大科学问题之一。解决这一重大问题必须依靠多学科的联合攻关,而气象科学在其中的研究地位是不可低估的。干旱气象研究工作在目前恰是一个薄弱环节。因此,它的重要性已日益被愈来愈多的人所认识。开展和迅速推进干旱气象研究工作已成为刻不容缓的大事。

1987年5月5日至9日,甘肃省气象局和甘肃省气象学会在兰州联合召开了干旱气象研讨会。来自国家气象局和甘肃、新疆、陕西、宁夏、青海、河南及江苏等七个省、自治区气象系统、中科院系统和教育系统的72名代表参加了会议。

会议领导小组的成员有:陶诗言、高由禧、李芝华、冯秀藻、张家诚、白肇烨、胡恒觉、朱瑞兆、吴俊明、徐国昌、张学文、罗哲贤等12名同志。

会议交流了近几年来干旱气象研究的动态和成果,就今后我国干旱气象研究的发展方向展开了讨论,提出了很多建设性意见。会议共收到干旱气象研究方面的论文31篇,经会议各方面专家、教授的推荐,会议领导小组的审定,选出其中21篇作为《干旱气象文集》的论文正式出版发行。

本书的编辑工作由王延录同志完成,陈一成同志参加了编写工作,王凤丽同志参加了图表绘制工作。

我们期望今后有更好更多的干旱气象论文以各种形式出版、进一步推动干旱气象科学研究迅速发展。

由于缺乏经验,本文集中定有疏漏和错误,欢迎读者批评指正。

兰州干旱气象研究所

1987.8

目 录

1. 干旱气象研讨会议总结·····	陶诗言 (1)
2. 气候干旱化问题·····	张家诚 (4)
3. 干旱区气候变化趋势初步分析·····	高由禧 杨秀华 (23)
4. 我国干旱、半干旱地区农业干旱研究概况·····	冯秀藻 李旭辉 (34)
5. 我国干旱、半干旱地区蒸发力的研究·····	欧阳海 童宏良 李旭辉 (42)
6. 干旱气候模拟的几个问题 (摘要) ·····	罗哲贤 (53)
7. 中低纬度环流变异与高原东北侧初夏干旱的探讨·····	林春育 陆菊中 (54)
8. 干旱区气候与环 境·····	瞿 章等 (63)
9. 美国干旱区气候资源开发利用研究考察情况简介·····	白肇烨 (69)
10. 干旱气象研究的内容和手段·····	徐国昌 (73)
11. 甘肃省中部地区农田生态位与气候工程对策·····	董宏儒 (77)
12. 甘肃中部半干旱区农用地生产力特征及开发对 策·····	胡恒觉 高旺盛 奚学诚 (84)
13. 关于开展新疆沙漠气象研究的设想·····	温跨达 (91)
14. 绿洲农田灌溉系统的简化模型·····	陈仲全 (95)
15. 河南省1986年的干旱天气·····	王照景 (99)
16. 西北黄土高原月降水场的时空分布特征·····	任 瑾 朱晓葵 (105)
17. 宁南山区小麦、糜子需水规律及其供应状况的分析·····	郭豫霞 董永祥 (112)
18. 现代气候学的结构·····	张家诚 (120)
19. 人类历史上的两次气候危机·····	张家诚 (124)
20. 从社会仿生学看城市生态气候问题·····	张家诚 (125)
21. 我国气象专家对开展干旱气象研究的意见·····	王延禄 (133)

干旱气象研讨会议总结

陶诗言

(中国科学院大气物理研究所)

这次会议是1984年全国干旱气候会议之后召开的一次具有相当规模的干旱气象研讨会。到会的同志共72名。其中有来自科研、教学单位的气象学家和农学家，也有在干旱半干旱地区工作多年、具有丰富实践经验的专家和业务技术人员。这次会议是在国家气象局、中国气象学会、甘肃省政府、省科委的大力支持下召开的。甘肃省路明副省长、省科委兰世奇副主任到会讲话，中国气象学会气候和长期预报专业委员会、农业气象专业委员会的两位主任委员参加了会议，国家气象局科教司的同志也到会指导。

会议交流了近几年来干旱气象研究的动态和成果。就今后我国干旱气象研究的发展方向等问题交换了意见。

会议收到论文31篇，其中13篇在大会上交流。这些论文集中在以下四个方面：

1. 旱涝形势及成因分析

旱涝环流形势的分析是大家熟悉的方法。过去这方面工作所考虑的地理范围，往往局限于东亚和西太平洋区域。从会议交流的情况来看，这方面的研究有所突破。我国华北干旱和长江流域干旱，不仅和北半球副热带的流型有关，而且受到热带洋面状况和南半球环流异常的影响，热带洋面对流活动的总体效应有能力强迫热带流型作出响应，进而影响到我国干旱的形成。这是一种不同空间尺度系统之间的非线性作用。因此，应该从更广阔的空间尺度以及更深入的动力学过程这个角度去考虑我国干旱环流形势的形成问题。大家认为：这个结果不仅具有理论价值，而且对业务部门干旱预报工作也有现实的指导意义。

此外，有关高原东北侧初夏干旱与中低纬环流变异的问题，黄河上游干旱年份大气低频波的振荡特征等报告，也具有各自的特色。不少省、地、市气象部门的同志分析了干旱环流特点，有的工作还提出了黄土高原降水场的时空分布特征。这些研究丰富了我们对于干旱演变规律及其形成原因的认识。

2. 干旱、半干旱地区气候变化趋势的分析和预测

六十年代末以来，全球范围内出现了多次严重的大范围干旱，引起了各国政府及气象界的关注。这种干旱趋势会不会持续下去？显然，这与国民经济的布局和发展直接有关。根据海底尘含量、南极冰心结构、树木年轮以及天文参数演变规律的分析，与会专家认为：今后我国干旱频率很可能会增加，出现继续干旱的势态。

历史上，我国西北地区曾经有过相对湿润的气候，由于自然的和人为的原因，逐渐演变成今天的干旱气候区。至于为什么会有这种变化，原因十分复杂。需要从不同的途径对比加以探讨。会上有些同志认为，过度砍伐，植被破坏加剧了干旱化的进程。这些分析可以为干旱防治的对策性研究提供一个基础性的依据，因而值得进一步研究。

3. 气候干旱化及其对策研究

气候干旱化是当前人类面临的重大科学问题之一。干旱化问题就是水资源不足的问题。与会同志普遍认为,首先需要搞清干旱半干旱区水资源的分布。

水资源的分布不仅涉及到自然降水,而且与陆面蒸发、径流、地下水、冰川消融等有关,形成了一个十分复杂的相互作用和转化的系统。这个问题的解决显然需要多种途径的共同努力,涉及到许多具体的学科问题,如陆面水平平衡各分量的计算方法等。与会专家报告了关于干旱、半干旱地区蒸发力计算方法的研究,这不仅具有科学意义,而且有实用意义。有的专家报告了新疆水分平衡初步估算的结果。这项研究为其它干旱、半干旱地区开展水资源分布的测算,提供了有益的经验,还有的报告分析了西北地区可降水量的时空分布,也得到了有意义的结果。

关于干旱化问题的对策,与会专家认为:采取生态系统工程、水利工程、重复用水等各项重大措施,从节水的角度,提高水资源利用率,是解决水资源不足和干旱问题的有效措施。改善人类和自然系统的水分平衡关系。立足于提高用水效率,用好当地水,应当是今后征服干旱化的主要对策。

4. 农业干旱研究和治理小流域干旱气候的试验

干旱气象是一门实用性很强的应用学科分支。目前,存在着若干学科上的问题需要解决。但更为迫切的是,如何加强应用研究,为干旱、半干旱地区农业生产的发展提供科学依据和可行方案。在这次会议上有农学家和农业气象学家参加,这对干旱气象的研究向更加实用的方向发展,无疑是一个推动。在会上关于干旱半干旱地区农业干旱研究的综合评述,全面地归纳了国内农业干旱工作的概况,有相当的参考价值。

除会议交流外,代表们还实地考察了甘肃农大鹿马岔综合试验基地治理小流域干旱的情况。看来,这是在干旱、半干旱地区发展农业的一条有希望的途径。

我国部分干旱区是灌溉农业,有关灌溉农业与气候条件的关系,也受到与会同志的注意,提出了一个绿洲农田灌溉系统的模型研究。此外,在土壤水分区划及土地水分供应状况方面,也报告了一些初步结果。

这次会议除分别进行大会和小会论文交流外,还广泛地评述了国外干旱气象研究和应用情况。美国干旱研究的考察报告比较全面地介绍了美国近年来干旱研究的进展。目前有些同志正在着手进行国外防治干旱的先进措施引进我国的可行性研究。因此,这个考察报告是有启发性的,详细地叙述了干旱气象研究的内容和手段。

会议就今后如何开展我国干旱气象的研究等问题进行了讨论,提出了如下许多建设性意见:

(1)国家气象局决定成立兰州干旱气象研究所是及时的、必要的。兰州干旱气象研究所的成立,将推动我国干旱气象研究工作的发展。兰州干旱气象研究所应该立足西北,面向全国,在干旱气象的研究和应用方面,形成特色,有所作为,做出成绩。

(2)为了促进我国干旱气象的研究,应该有一个规划和计划。大家认为,在国家气象局科学基金委员会下属机构中,增设干旱气象项目评审组,负责制定国家级干旱气象研究的规划和项目指南,并负责协调各地区之间干旱气象的研究。

(3)在有条件的单位可以开展干旱气候成因的理论分析和数值研究。同时,应大力加强干旱气象试验基地建设和应用研究。促进科研和服务的结合。当前,应积极筹建兰州干旱气

象研究所干旱气象综合观测试验研究基地。希望国家气象局、甘肃省政府和省科委对此从各方面给予大力支持。同时，应注意充分发挥现有农试站的作用。

在会上，专家们还列举出目前干旱气象研究的若干前沿课题，如地气相互作用；热带海洋对大气环流和干旱的影响；十年以上时间尺度气候变化的诊断分析；降水资源的研究；干旱区边缘地带干旱化的监测；气候变化规律的分析 and 趋势的预测；气象能源的应用；农业干旱和小流域治理的研究；干旱气象农业服务系统的建立等前沿课题。

基础性的业务建设是干旱气象的研究和应用不可缺少的工作，同志们普遍反映，必须予以足够重视，花大力气开展和加强这方面的工作。

在会上专家们对兰州干旱气象研究所今后的工作提出了若干建议，这些建议将促进兰州干旱气象研究所各项工作的开展。

会议建议下一次干旱气象学术讨论会在1989年召开。

气候干旱化问题

张 家 诚

(国家气象局气象科学研究院)

一、科学界的关注

气候干旱化是当前人类面临的重大科学问题之一。干旱化问题实际上就是水资源不足的问题,对人类社会的发展至关重要。因此,干旱化问题引起科学界高度重视。

1977年3月14日—25日在阿根廷的马德拉塔召开了联合国水资源大会,在会上特别强调了加强水资源评价的重要性。同年9月又在肯尼亚首都内罗毕召开了联合国沙漠化问题大会,指出了沙漠化问题的严重性及其不合理使用水资源与旱灾之间的密切关系。世界气象组织1979年在瑞士日内瓦召开了世界气候大会,会上提出了世界气候计划。干旱化与沙漠化问题在这个计划中受到高度重视。为促进各国政府与科学界的注意,1986年世界气象日(3月23日)以“气候变化、旱灾和沙漠化”为题开展活动,为此世界气象组织发表了文件和讲话。

我国气候工作者对气候干旱化问题也十分关心,并做了大量工作。中国气象学会于1984年在兰州召开了全国干旱会议。1986年在衡山召开的气候预报讨论会上,对于干旱问题又一次进行了热烈的讨论。中国气象学会及下属各省学会在1986年的世界气象日都举行了纪念活动,包括干旱问题的学术报告及各种科普材料的介绍等。1986年10月华北各省气象学会联合召开华北干旱气候学术讨论会,针对华北的特点,进行了较深刻的讨论。

上述各项活动尚远不足以概括有关于干旱问题的全部学术活动,但却足以说明这一问题在国内外已引起了广泛的注意。气候干旱化问题的核心就是确证干旱化问题是否存在及其过去与将来可能的变化趋势,对干旱现象出现的原因及对策问题也具有重要意义。在本文中将对上述问题作一个简要的介绍。

二、干旱的定义

什么是干旱?在目前有各种不同的理解。

第一种理解是把干旱作为一种气候现象来考虑。降水是地表面水分的主要来源,降水量多少曾普遍用作干旱的标准。例如,降水量在200—400毫米的地区被认为属半干旱地区,降水量不足200毫米的地区被认为是干旱地区。但是降水不是确定干旱的唯一指标。如果地面没有蒸发消耗水分,少量的降水仍然是可以保留在地面以供使用的。所以气候指标应该用降水量和蒸发量之间的比值来表现。当前在世界气象组织所公布的文件中采用的干燥度指数D可用下式表示:

$$D=R/LP$$

这里R是年平均辐射差额，P为年平均降水量，L为水的蒸发热。这个指数即苏联布迪科 (Будыко, 1958) 的辐射指数。很显然，如果 $D < 1$ ，辐射差额不足以使全部降水量蒸发，属湿润气候。 $D > 1$ ，则降水量蒸发耗热小于辐射差额，应属干旱气候。F.K.Hare 所起草的文件中将干旱带分为以下等级：

D 指数	干旱带
>10	沙漠
7—10	沙漠边缘
2—7	半干燥带
<2	副潮湿带、沙漠化较少

Hare认为2和10是两个重要的指标，在2—10之间是受沙漠化威胁最严重的地区。图1是这两个指标值的全球分布图。我国水利部水资源研究及区划办公室绘制了这两个指标的全国图 (见图2)。从这两幅图上可以看出，干旱地区主要分布是在北纬 20° — 30° 之间的副

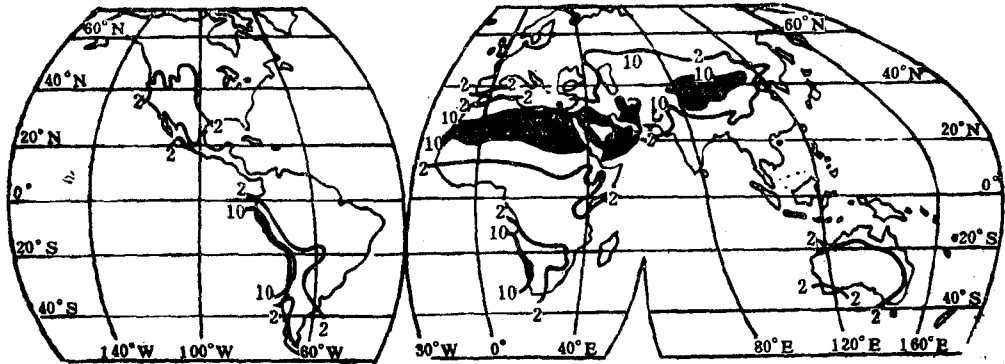


图1 世界干燥度2和10等值线分布图

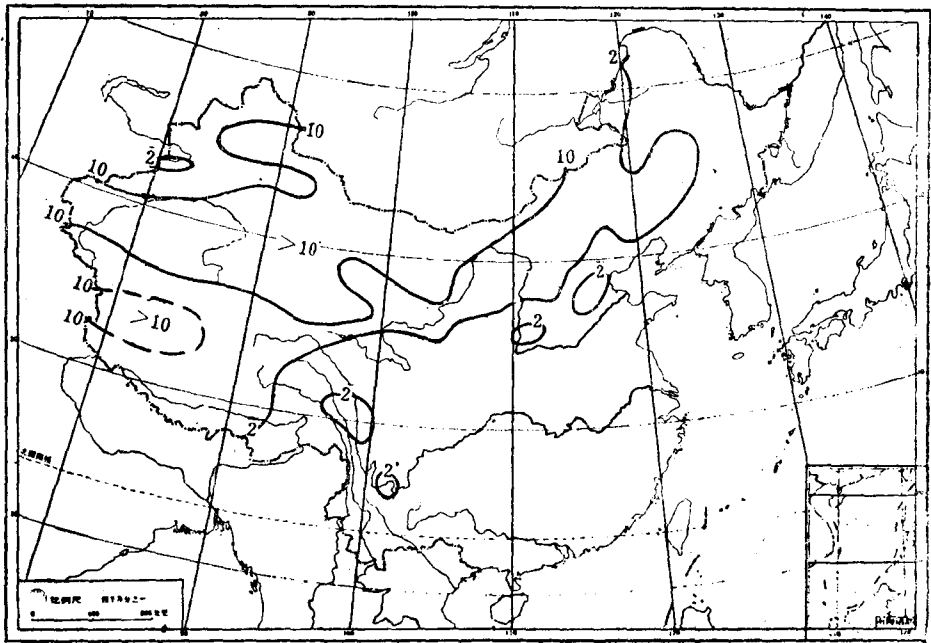


图2 中国干燥度2和10等值线分布图

热带大陆地区及亚洲大陆中心的温带地区。前者主要是由于副热带高压的影响使下沉气流盛行，不利于降水过程的发生，同时天气晴朗，地面蒸发强烈，引起严重干旱现象的产生。在亚洲大陆的中部距海遥远，海洋潮湿空气不易到达，加上位于青藏高原的北部，使得反气旋环流盛行，不利于降水发生，而蒸发也很强烈，形成又一个严重干旱地区。此外，在南美、非洲及澳洲副热带地区的西部也有干旱带存在，这是由于这里正是在副高东缘，受从高纬而来的冷空气的控制。这种冷空气含水不多，受热后相对湿度下降，形成干旱气流。北美温带地区的干旱气候则是该地带盛行西风越过落基山后气流下沉而引起。亚洲大陆东部和南部则正位于副热带高压的西侧和南侧，由于夏季风活动，夏季降水很多，形成独特的季风气候。

除以上所述的干旱气候外，在 $D < 2$ 的副湿润及湿润地区也存在季节性或多年连续干旱，这就是旱灾。可以说，旱灾是遍及全球的干旱问题。

旱灾是由于降水时间分布不均匀所产生的短期干旱现象。由于降水量往往可以集中在一场大、暴雨中，故在干旱、半干旱地区也不能完全避免洪涝灾害。这种情况同在湿润、副湿润地区不能避免干旱的威胁是一样的。旱和涝都是严重的自然灾害，它们的存在使得干旱问题变得更为复杂。

第二种理解是以干旱对社会所造成的影响作为评价的标准。例如，在农业生产上有农业旱涝的提法。马锡彬、刘九林等认为农业旱涝与气候旱涝的差别主要在于农业旱涝不是以降水量多少来衡量，而主要考虑供水量与作物需水量的差值。供水量小于作物需水量为旱，反之为涝。但由于各种作物的需水量和需水时段都不一样，作物需水量还可以通过灌溉来解决，这样就使得天然降水分布不同于农业需水分布，而产生旱、涝现象。所以在降水量偏多的年份可以出现季节性干旱，而在降水量偏少的年份则可以出现季节性洪涝。

除农业外，干旱也影响到其它行业，所以也存在其它行业的所谓“干旱”。笔者认为，各个行业的“干旱”对这个行业说来，虽然有重要意义，但是我们需要一个更广泛的干旱概念，以概括从整个社会经济角度对干旱问题的理解，这就是社会干旱。

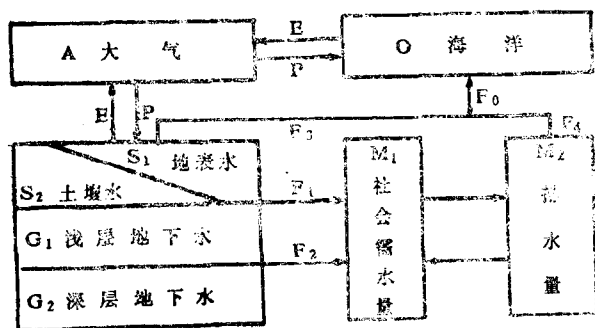


图3 人类和自然系统水分平衡

气候干旱是自然界水分平衡的结果，社会干旱则是整个“人类和自然”系统中水分平衡的结果。其大致情况如图3所示。

从图3中可以看出，AOSG系统之间的水分平衡即自然水分平衡。Hare所采用的干燥度指数只是这个系统中大气与地表之间水分交换的两个分量（降水与蒸发）之间的平衡关系，虽然有一定代表性，但尚未包括径流和地表及地下水交换。

降水在时间分布上是不连续的呈脉冲性的变量。地表生态系统和人类对水分的需要是连续性变量。因此，天然降水对生态系统和人类都是没有直接意义的。但是SG系统把脉冲性天然降水转化成连续性供水，对于水分发挥社会效益有十分重要的意义。人类社会的需

水量是衡量降水量过少（干旱）及过多的标准，所以在水分社会经济价值的评估中具有计量标准的意义，是极为重要的。自然降水系统（AO）、地表和地下水量再分配系统（SG）及人类需水排水系统（M）是人类和自然水分平衡的三大系统。在这三大系统中M系统是可以调节的，SG系统是可以影响的，只有AO系统是目目前人类尚无法产生实际影响的自然现象。因此，只有在这三大系统水分平衡研究的基础上，才可能对干旱问题的实际意义有更进一步的了解。可惜的是目前对此还缺乏系统性的研究，所以还无法对社会干旱作出精确的计算。但是，根据已有资料进行一些定性的估计还是可能的，这将在本文以下各部分作一些介绍。

三、干旱气候与70年代旱灾

干燥度指数 $D > 2$ 的干旱和半干旱地区约占全球陆地面积的三分之一，但人口稀少，是经济最不发达的地区。我国降水量少于 400 毫米的地区约占国土总面积的 45%，但人口和耕地均只有全国 10% 左右。

干旱及半干旱地区除了水分不足外，其它自然条件仍很优越。就气候资源说来，这里日光能丰富，热量适宜，特别是日夜温差大，有利于作物积累营养物质。病虫害较湿润地区少。可以说，广阔的干旱、半干旱地带正是当前人类发展的前沿地带，具有很大潜力。

干旱、半干旱、甚至亚湿润地带，常有很长的干旱季节，属季节性干旱。例如，兰州的 75% 的降水集中在 7—9 月内；天津有 65% 的降水集中在 7，8 月，其它各月则是干旱的。而非洲的突尼斯的 6—8 月降水量只有 17.7 毫米，约为年雨量的 4.22%，德黑兰的 6—9 月只有降水 10 毫米，占年雨量的 4%。在这一段时间正好高温、蒸发很强，使得干旱更为突出。

更有甚者，在干旱、半干旱地区的雨季里，雨量往往集中在几场暴雨里，例如，在年雨量不足 100 毫米的我国毛乌素沙漠，1977 年 8 月 1 日—2 日 24 小时雨量超过 500 毫米的地区竟达 900 平方公里，一场暴雨相当约五年的降水量。雨水过于集中相对增加了其它时间的干旱程度。

旱灾是干旱气候表现的另一形式。旱灾的形成同雨量年际变化有密切关系。如果用均方差和多年平均雨量之比为变差系数，则干旱、半干旱地区都已超过 25%，在沙漠边沿可达 40% 以上。我国华北地区雨量年际变化很大，平均约在 40% 左右。年际变化大不但形成旱灾，而且也形成涝灾。旱、涝灾害频繁是半干旱地区及季风地区的重要特点。干旱、半干旱地区的降水不均匀分布往往对沙漠化有重要影响。特别是连续多年多雨和连续多年干旱交替出现，则具有更为重要的影响。

在非洲萨赫勒和苏丹地带 1911—1974 年的 64 年资料中，连续两年以上多雨或少雨年份达 38 年，占总年数的 61%，特别严重而连续时间最长的是 1968—1984 年的 17 年旱灾。这一次旱灾所造成的损失尚没有完整的资料，但从已公布的部分材料看来，这次旱灾的损失是惊人的。图 4 是这两个地带的地理位置及降水量分布情况。可以看到在这一段时期中有的年份雨量连续比常年减少 50% 左右，而一般都减少 15—20%，6,000 万人口和 520 万平方公里的土地受到旱灾的严重影响。仅 1973 年以前的旱灾使萨赫勒地区的牲畜死亡率达 80%，整个土地利用系统都受到破坏。埃塞俄比亚损失 80% 的大牲口 and 50% 的羊群。尼日利亚主要农产品之一的花生产量从 1968—1969 年的 76.5 万吨连续下降到 1972—1973 年的 2.5 万吨，不到原来的三十分之一^[12]。

巴西的东北部的旱灾也常出现。在1958年的大旱灾中千万计的居民逃离灾区。同样严重的旱灾还在1790—1794年, 1877—1879年和1932—1933年出现过。澳大利亚在1982年4—6月间降水严重不足, 经济损失达20亿澳元之巨。丛林火灾时有发生, 仅一次大尘暴就刮走20万吨表层肥沃土壤。英国是降水较多的地区, 但从1975年5月到1976年8月英格兰与威

尔士降水很少, 引起严重缺水。从1977年2月中旬起, 美国中西部出现有气象记录的最严重的旱灾。此外, 印度、苏联等广大地区在70年代也受到旱灾的袭击, 造成粮食的减产和其它方面的重大损失。

我国也是旱、涝灾害较多的国家之一, 据不完全统计, 从公元前206年至1949年在2155年间, 全国共发生可查考的水灾1092次, 较大的旱灾1056次。近30年来, 平均每年受旱面积约3亿亩, 占全国耕地19%。减产三成以上面积约1亿亩。1957—1963年和1971—1979年间平均受灾面积接近4亿亩。

我国连旱连涝也很常见, 以下是几个例子:

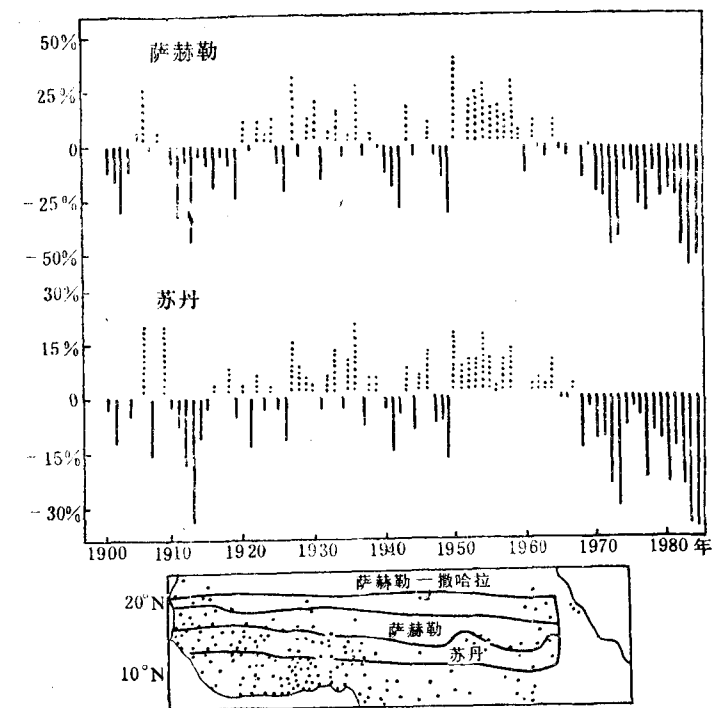


图4 北非与西非两个地带的雨量变化

仅以北京近百年的降水记录为例, 这里曾出现过连续两年降水量不到300毫米的连旱(如1920年为276.7毫米, 1921年为256.2毫米), 也出现过连续两年超千毫米的连涝(1893年为1162.8毫米, 1894年为1009.4毫米)。这种情况为建国后所未见。

20世纪在我国历史上旱灾并不突出。根据国家气象局气象科学研究院等单位所整编的五百年旱涝史料, 如果把五百年中十年一遇的旱灾(在北京附近约相当降水量350毫米以下)作为大旱, 则1940—1974年的35年中大旱只有一年。仅乾隆年间北京曾有过连续20年干旱(1741—1760年), 其中6年达到大旱标准。最严重的是崇祯年间大旱(1637—1643年)。整个35°N以北地区有五年是大旱年。长江流域虽然雨水丰沛, 但旱灾仍很突出。1646—1649年, 四川连旱四年, 其中三年为大旱年。出现“全蜀大饥, 人相食”的惨象。我国有“旱一片、涝一线”的说法, 说明旱的面积往往十分广阔。上述崇祯年大旱就席卷整个华北及长江流域, 使得地方之间也无法相互调剂。

70年代我国连续少雨, 也发生过较为严重的旱灾。1972年我国北方旱情严重。其中河北西部和山西中部年降水量仅有160—260毫米, 偏少5—7成, 不少地区水库干涸, 河水断流, 黄河到济南以下曾断流20天。不仅大秋作物受到严重影响, 有的甚至失收, 不少地区人畜饮水困难。1978年我国江淮流域出现严重干旱, 降水偏少3—5成, 旱灾持续3—5个月

之久。旱情最重的安徽省，大片农田龟裂，不少秋作物枯死。水稻、棉花、花生等大幅度减产，相当大的一部分县、村人畜饮水都极感困难。

因此，对世界和我国来说，不但面临着开发干旱地区的重要任务，而且还要有抗御历史上最大旱涝灾害的准备。

四、干旱化与沙漠化的关系

同干旱化问题密切联系的是沙漠化问题。沙漠地区的气候是极为干旱的，而干旱气候又是土壤沙漠化的一个自然条件。据联合国环境署估计，当前每年世界因沙漠化而丧失土地达6万平方公里，另外还有21万平方公里的土地地力衰退，在农、牧业上已无经济价值。沙漠化同样也威胁我国，在我国北方地区历史时期所形成的沙漠化土地已有12万平方公里。近五十年来，每年因沙漠化而丧失土地约1000平方公里。沙漠化潜在危险的土地达15.8万平方公里。沙漠化问题在世界和我国都是十分惊人的。

正如 A. Rapp(1974) 指出，沙漠化有一个共同的机制：①在多雨时期扩大和加强了对沙漠边沿干旱地带的土地利用，包括扩大放牧、开垦荒地、采集薪柴等。②在随后到来的干旱时期出现严重风蚀，或在暴雨到来时发生水土流失。我国科学家认为，旱灾是沙漠化的突发因子，也是这种机制的一个具体反映。由于多雨和干旱期是交替出现的，故 Rapp 所揭示的两个过程是不断重复出现的。从图 3 所示的“人类和自然”系统水分平衡过程可以看出，沙漠化破坏了地面系统 S，因而加强了干旱化，在更加干旱的情况下，人类为开发新的自然资源，以弥补它的缺乏，又加强对其余土地的利用。这样又为进一步沙漠化创造了条件。这时，图 3 所示的各种反馈关系，就变成了恶性循环，其结果就是沙漠不断扩大。对于这种恶性循环，世界上已有两个突出的例子。

一个是印度塔尔沙漠的演变史。塔尔沙漠的面积大约在47万平方公里以上，相当于印度的总面积的20%，这里年降水量不到130毫米，气候炎热干燥，蒸发量很大，因此成为世界最干旱地区之一。在沙区中人烟稀少，是一片不毛之地。现在该沙漠正以每年半公里的速度向外扩张。但是，据考古发现，在一千多年前，这里是有农、牧业生产的。在公元前2500年左右，这里生长着喜欢湿润气候的植被，空气潮湿，水分充足，有着发达的文化。以后这里曾有所干旱化。直到第7世纪这里尘暴屡次发生，到公元一千年，沙漠又一次显著扩展，逐渐发展成今天这样广阔的沙漠。在夏季，印度其它地区都是雨季，这时流过塔尔沙漠上空的气流也是来自阿拉伯海的潮湿的夏季风。但是夏季风所携带的丰富的水分现在已不再在塔尔地区降落了。问题在于为什么两千年前夏季风所带水分能在此地降落，而现在却不可能。

据研究，现在塔尔沙漠的上空已不存在有利于降水的上升气流，而是不利于降水的下沉气流。塔尔沙漠上空大量的尘埃可能就是这种差别出现的原因。现在塔尔沙漠地区每平方公里面积上空气层里含有一吨半的尘埃，比美国第二大城市芝加哥上空尘埃的含量还大几倍，以致白天的太阳变成暗红色或被完全遮住，夜间尘幕遮盖了群星。

尘埃能反射和吸收阳光，阻挡阳光到达地面，同时尘埃层（特别是上层）空气温度却升高了。这样，在尘埃层下形成逆温，不利于上升气流发生。夜晚，尘埃层辐射消失热量，虽能引起空气下沉，但下沉空气不会产生雨水。

那么塔尔沙漠上空的尘埃从哪里来的呢？主要是该地区多雨期发展的农、牧业破坏了自然植被，气候干燥化开始后，农田里的作物枯死。裸露的疏松土地变成了沙尘的源地，使得

尘埃被风卷进大气。空气中含尘量增多,使得大气中出现逆温,引起雨量减少,作物产量下降。人们为获得粮食,不得不再开垦更多的土地,其结果扩大裸地面积,使更多尘埃进入大气。这种恶性循环是塔尔沙漠形成的原因。塔尔沙漠也就成了人造沙漠。

另一个例子就是上述的非洲萨赫勒-苏丹地带的旱灾。这一带属季风气候,雨量的季节性很强,而且年际变化大。这里的生态系统以灌木丛和热带草原为主,人类的生产活动原来是游牧业和种植以谷物为主的季节性农作物。农业只有在绿洲和河谷才有灌溉的可能。

在萨赫勒地区人类社会有两个主要组成部分。一个是游牧民族图阿列格人,另一个是农业和畜牧业民族佛兰尼人。在干季里,农业活动限制在有水利利用的地区,即沿着季节性河流的谷地和萨赫勒地带的南端。雨季里农业主要在高台地上。当地佛兰尼人的族长负责劳动安排和分配耕地与休闲地。休闲制不仅保护了土壤肥力,还为放牧提供了草场。在干季,游牧部族把畜群赶到南方耕种地区放牧,休闲地提供了牧草,耕作地的残茬也充当了饲料。正在此时期,农业只集中在沿河低地。这对双方都有好处,畜群得到饲料,土地得到肥料。干季结束后,游牧部族向北移动,使畜群获得新的草场,同时又避免了雨季所带来的传染病。畜群随雨带向北移动,到农业收获季节后,又随雨带返回南方。此时南方牧场的牧草已经长好,庄稼留下残茬,等候畜群的到来。

欧洲殖民开始后,出现了许多社会和经济变动。它虽然引进一些技术,但却破坏了社会、经济与生态之间的协调关系。其中一个重要措施是鼓励游牧部群定居下来,引进商品经济作物,加上人口激增,刺激耕地迅速扩大,休闲制也取消了,损害了放牧草场。但由于放牧规模已经扩大,对牧场的需要却增加了,这就引起了草场过度放牧而遭受破坏。结果进一步减弱抗旱能力。可以说,殖民制度破坏了萨赫勒-苏丹地带的土地利用系统和农、牧业之间传统的平衡关系。这一盲目发展正好由于1950—1967年间连续多年气候潮湿而达到更大程度(见图4),放牧一直逼近到沙漠边沿地区,使这里稀疏的植被遭到畜群严重的破坏。1968—1984年的旱灾发生在此基础上,更加强破坏力,成为当代最严重的自然灾害之一。

在沙漠化的成因中,人类活动的影响是主要的,过度农、牧和樵采所造成的沙漠化土地占沙漠化土地的85%以上。

据朱震达等的调查,我国过度农垦最典型的例子是内蒙古乌盟后山地区。这里受水肥条件限制,产量不高,但由于人口增加很快,需要更多的粮食和生活资料,人们盲目扩大种植面积,采取广种薄收的方式,达到总产增加的目的。同时受到极左路线的影响,使这一进程加速。其结果破坏环境的规模扩大了,但产量并未提高,造成恶性循环。朱震达等根据该地区四子王、商都、察右中旗及后旗(县)调查情况绘成图5,可以看出,由于过度农垦,使人口-地力-产量之间的矛盾更加尖锐化。

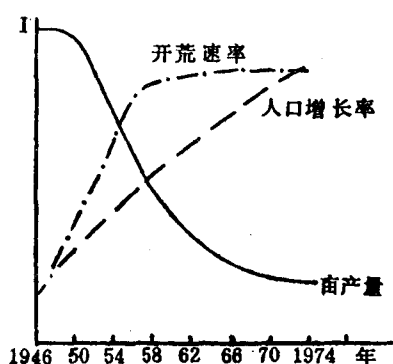


图5 近年来乌盟后山部分地区人口增加率、开荒速率与单位面积产量变化模式

农垦造成大面积被犁耕破坏的无结构的沙质地表在冬、春多风季节容易产生强烈的风蚀。图6是四子王旗供济堂公社的例子。根据武川县二分子公社的调查,沙质农田每亩吹蚀1厘米土层,就损失有机质

175.1公斤、氮素11.27公斤、物理粘粒1.73吨。可见风蚀破坏土壤的严重性。

盲目农垦造成了一个恶性的生态循环，即：扩大耕地→增加风蚀→降低产量→再扩大耕地。因风蚀而吹扬飘移的沙粒，在风影处堆积，地表就开始出现片状流沙或灌丛沙堆，即为沙漠化的景观。

过度放牧也是草场衰退和沙漠化的重要原因。营养价值高，为牲畜所喜爱的禾本科牧草首先受到损失。例如，在达茂旗固定草场样方内1959—1973年间禾本科牧草下降了76.2%，杂草产量却增加1.73倍。但放牧压力不断增加，使得沙质草原植被日益稀疏低矮，裸露地表扩大，牲畜践踏使得土壤表层结皮遭受破坏，这就给风蚀创造了条件。在牧畜集中的井泉附近约两公里内，往往破坏最重，形成沙漠化圈，沙漠化从这里开始。

樵柴至今仍是沙漠化的重要原因之一。据估计，五口之家每日需木柴10公斤，一年就要破坏3—4亩沙丘的植被。因此，在居民点周围也会形成沙漠化圈，并日益向外扩展。

可以说，沙漠化加重干旱，并使气候达到极端干旱状态的主要地表物理过程之一。

五、历史上干旱化趋势

图7是Street和Grove根据对内陆湖泊各种沉积物分析结果综合而成的高水位、中水位及低水位的百分率图。可以看出，除美国西南部一万年（放射性碳定年，与真正年代略有差别）来气候明显干旱化外，赤道非洲与澳大利亚都呈现干、湿气候交替出现的现象。

根据我国黄土高原地质研究发现黄土层和古土壤层相间出现，说明我国在万年以上尺度的气候变化中也是干、湿气候交替出现，并不存在干旱化一直发展的趋势。

在几万年气候变化的背景下，几千年来干湿变化似乎存在着一个干旱化的过程，在世界各地和我国均有证据可查。例如Street和Grove根据内陆湖泊沉积物分析，得出世界各干旱区的干旱程度变化情况。

非洲阿拉伯，直至印度和巴基斯坦西北部干旱地区在距今8000—9000年间是比较潮湿的，雨量比现在偏多20—100%。正在此时，美国西南部及墨西哥北部变为半干旱地区。这个结果得到一些科学家的赞同（澳大利亚Nicolson和西德Flohn等人）。

Gtyh-Jakel(1974)用放射性碳定年法确认撒哈拉直到7000年前属湿润气候，以后曾较为干旱，而在6000—4500年前间又恢复湿润气候。早期文献也记载在此湿润期结束后，热带草原不断缩小。赤道非洲的干旱化事实上是从5000年前开始的。以后严重旱灾和潮湿时期相继出现。总之，现在很多地区的当前干旱尚不是历史上最严重的情况。Grove发现西撒哈拉的移动性沙丘南沿在某些时期比现在还要偏南5—6个纬度。很多学者对印度、巴基斯坦西北部古代气候研究认为，约从距今一万年开始，这里曾有过持续的潮湿期，只是从3000年前才开始趋向干旱化。

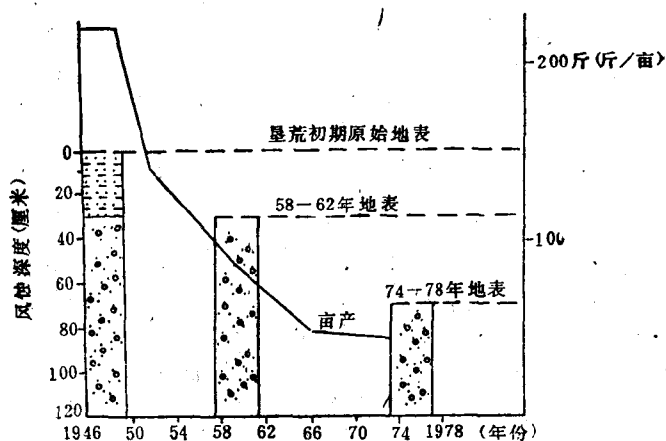


图6 亩产与风蚀深度之间关系（以四子王旗供济堂公社为例）

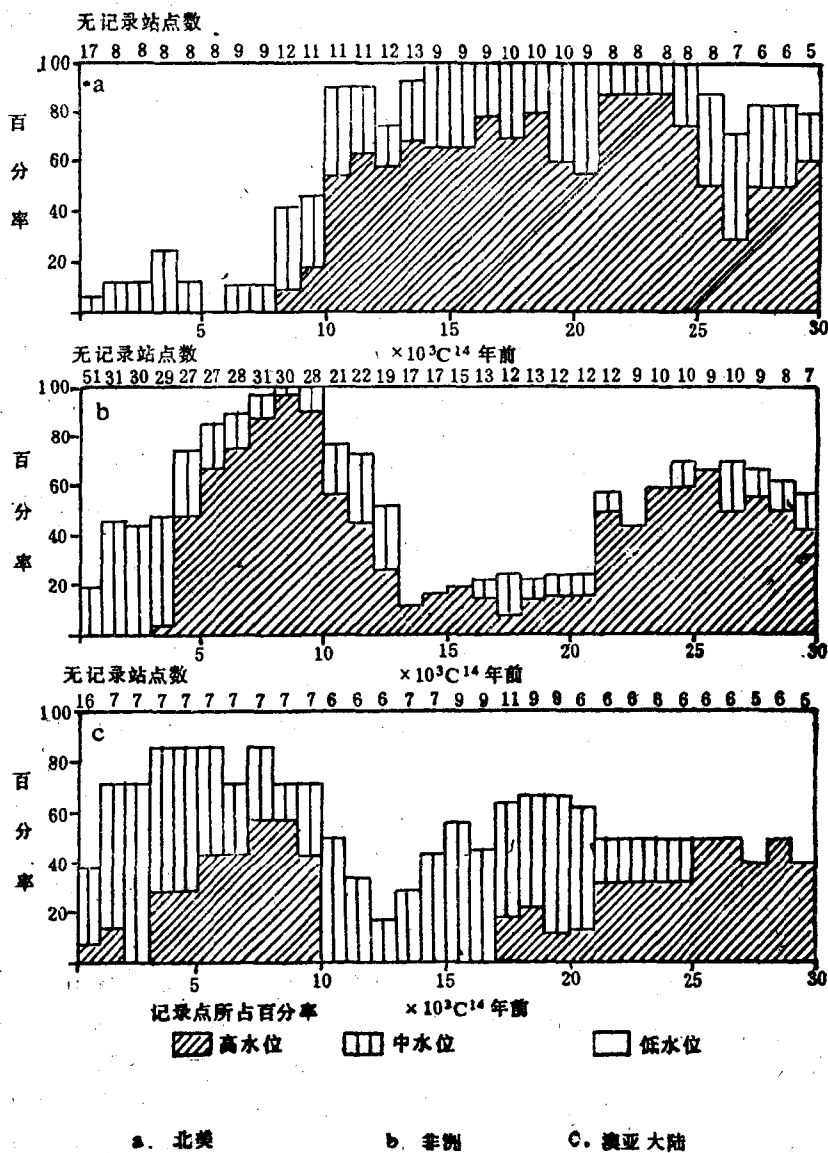


图7 30000年前以来每千年内湖水位

从以上情况看来,虽然三万年来干、湿情况交替出现,但近几千年来干旱化趋势具有全球规模,不能不认为有一些自然原因在起作用。

我国情况大致与世界总的趋势相似。从图8所示的内蒙古及邻近地区内干旱及大风次数图可以看出,在唐代以前曲线呈波动性变化,但在唐代以后则呈发展的趋势。这种情况同中国科学院地理研究所的资料一致。笔者将此资料绘成图9,可以看出,在10世纪前,湿期长于干期,10世纪后,干期长于湿期,二者的差别只是转折点略有先后不同而已。

从本世纪来,各地降水大致呈波动状。图10是Nicholson绘制的撒哈拉大沙漠南各地降水量标准化年距平图,可以看出只是在近20年明显下降,但从1984年起又已回升。图11是我国东部各区10年滑动降水量曲线,呈现着十分明显的波动性,并无长期趋势性变化。