

“三江源”气候变化及其对湿地影响的研究综述

纪玲玲¹ 申双和² 郭安红³ 刘文泉³

(¹ 吉林省气象台, 长春 130062; ² 南京信息工程大学; ³ 中国气象科学研究院)

摘要

三江源地区位于我国青藏高原腹地, 该地区的湿地分布和生态环境变化受到长期的气候变化的深刻影响。有关研究结果表明, 近 40 年来, 三江源地区平均气温呈上升趋势, 同时降水量逐年减少, 冰川、雪山逐年萎缩, 直接影响“三江源”地区的湖泊和湿地的水源补给, 出现了草场退化、湖泊萎缩、河流流量减少、土壤沙化和水土流失等生态环境问题。在综述三江源地区近几十年来气候变化、湿地变化及其相互影响的研究成果的基础上, 提出气候变化对三江源地区湿地影响量化研究的主要思路和技术建议。

关键词: 三江源; 气候变化; 湿地变化; 区域气候模式

1 引言

湿地是地球上生产力最高的生态环境之一, 是地球的肾脏, 生物多样性的摇篮。湿地环境由湿地水文、湿地生物地球化学循环和生物对湿地的适应和改造构成^[1]。各种因子之间相互依赖、相互协同, 表现出湿地的整体功能。一个未受异常自然和人类活动扰动的湿地环境, 因其生物种属的多样性、结构的复杂性、功能的整合性和抵抗外力的稳定性, 而处于较好的健康状态。当外力扰动超过湿地环境的修复能力时, 湿地环境的健康状态就会恶化, 功能发生退化, 进而对区域或全球环境产生影响。

自第二次工业革命以后, 人类对大自然索取能力的极大提高, 逐渐破坏了人与大自然的和谐关系。自然资源过度利用, 使湿地和森林植被面积锐减, 生物多样性不断减少, 生态环境恶化, 特大洪水频繁发生。同时, 全球气候变化对湿地的社会、经济和环境效益都形成了威胁, 湿地的保护和合理利用必须考虑到气候变化的影响。特别是河流、湖泊湿地的面积因温度、降雨量和蒸发量变化而受到影响, 进而影响到水资源的分配和淡水资源的供给^[2]。湿地与气候变化之间的关系是相互影响、相互作用的。保护好湿地的健康, 确保淡水资源和大量食物来源的安全, 这是保持全球可持续

发展的关键之一。

“三江源”地区系中华民族的两条母亲河长江、黄河和著名河流澜沧江的发源地。分布有丰富的河流、湖泊和沼泽湿地系统, 该地区湿地具有海拔高、水文功能巨大、生物多样性丰富和生态脆弱等特点。“三江源”地区气候及生态环境的变化不仅直接影响着当地的资源开发利用和经济建设, 而且对全国乃至全球气候变化及生态平衡起着极其重要的作用。为了改善“三江源”地区生态环境, 目前, 我国已将“三江源”地区列入中国陆地面积最大的生态环境自然保护区。三江源区河流密布、湖泊、沼泽众多、雪山冰川广布, 是世界上海拔最高、面积最大、湿地分布最集中的地区, 湿地总面积达 7.33 万 km², 沼泽分布率大于 2.5%。区内许多湿地为世界和中国所知名。

2 三江源地区的气候变化

张占峰等^[3]利用三江源地区 18 个气象台站的 1961-1999 年的气象资料, 统计并分析了降水、热量、光照以及蒸发量等气象要素近 40 年来的变化趋势和年代际变化特征。结果表明, 三江源区降水资源呈弱的减少趋势, 但冬季降水增加十分显著。年降水量最为丰沛的年代是上世纪 80 年代。60、70、90 年代都是相对少雨的时期, 其中 90 年代最为干旱, 冬季降水变化的最大特点是降水随年代递增非常明显, 这也是牧区雪灾加重的重要原因之一。同时, 春季降水量也呈增加趋势, 这是近年来多春季雪灾的一个原因。年和各季的蒸发量均呈减少趋势, 但进入 90 年代之后又有所回升。李林、朱西德等^[4]利用 EOF 等方法通过计算 1962-2001 年 40 年来三江源地区 16 个气象台站气温、降水、蒸发资料, 分析了“三江源”地区近 40 年来气候变化的异常特征及其对生态环境的影响。结果表明, “三江源”地区气候变化表现为气温升高、降水减少和蒸发增大的干旱化趋势。李林、李凤霞^[5]等利用“三江源”地区 14 个气象台站 1962-2004 年气温、降水量资料, 分析了该地区气候变化趋势及其突变情况。研究表明, 近 53 年来, “三江源”地区气温普遍升高, 年及夏、秋季降水量的变化呈微弱减

少趋势,而冬、春季降水量呈现出显著增加趋势,气候暖湿变化表现出不同季性,四季及年蒸发量变化呈逐年增大趋势。

李林等人两次研究得出的降水量总体变化趋势有所差别,主要原因在于两次选择的测站数量不同,分析的时间长短不同,使用的方法也各异。初步研究表明,近40年“三江源”地区四季及年平均气温普遍升高,其升幅冬、秋季要大于春、夏季和全年,但就气温升高的显著性水平而言,夏、秋季和年均达到了0.001的信度,而冬、春季仅达到了0.02的信度,说明年平均气温的升高主要是由于夏、秋季平均气温的升高引起的。黄河源区、长江源区和澜沧江源区年平均气温的气候倾向率分别为 $0.37^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 、 $0.25^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 和 $0.29^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,表明黄河源区是整个“三江源”地区气温升幅最大的区域,而长江源区为气温升幅最小的区域。“三江源”地区年降水量的变化呈现微弱的增加趋势,其气候倾向率为 $1.4\text{mm}/10\text{a}$,但未达到显著性水平。夏、秋季降水量的变化呈微弱减少趋势,但冬、春季降水量呈现出增加趋势。就三大源区而言,黄河源区的变化趋势为暖干化,长江源区和澜沧江源区表现为暖湿化的变化趋势。

3 气候变化对湿地的影响

虽然气候变暖对湿地生态系统影响的研究在国内外都很有限,但可以肯定气候系统的变化必将对湿地生态系统造成极大影响,这可以从以下几个方面来分析。

气候的暖干变化趋势造成冰川普遍出现退缩和物质负均衡^[6]。温度升高加剧了湿地水分的蒸发,造成了冰川退缩,冻土冻融过程改变,湖泊水面萎缩,湖水内流化和盐碱化^[7],出现沼泽植被衰亡,高寒沼泽化草甸草场演变为高寒草原和高寒草甸化草场等。气候的变化对湿地面积和分布,湿地生态系统结构和功能,以及对湿地温室气体源汇均会产生不同程度的影响。

3.1 对湿地面积和分布的影响

研究表明^[8],在以下气候情景下(降水增加/减少10%,温度增高 1°C 、 2°C 和 3°C),草本沼泽的面积都会减少。气候变化对北方泥炭地影响的另一种可能是高温将使永久冻土融化。如果温度增加 2°C 左右,北半球冻土的南部边界将北移。这不仅改变区域的水文和地貌特征,而且与碳循环的过

程和速率有关,特别是在极地、亚极地区域,因为冻土是维持该地区生态系统中水位的重要因子。在欧洲南部半干旱地区,水生植物为主的湿地,当气温升高 $3^{\circ}\text{C}\sim 4^{\circ}\text{C}$,适应于水生植物生长的湿地面积在五年之内将减少70%~80%,说明干旱半干旱地区的湿地对全球变暖是极为敏感的。在我国西北地区的内陆湖绝大部分均向萎缩的方向发展,有的甚至干涸。除人类活动影响外,暖干化的气候是重要的原因。如果未来气候变暖,而河川径流变化不大的情景下,平原湖泊由于水体蒸发加剧,将会加快萎缩,并逐渐转化为盐湖。湿地生态系统水文情势的改变,也将对湿地生态系统的生物、生化、水文等功能产生影响,继而影响湿地生态系统的社会和经济功能。众多研究表明^[9,10,11],在近30年来,随着气温逐渐转暖,青藏高原冻土上部地温明显升高,并已影响到深40以上冻土地温状况,造成冻土融区范围扩大,季节融化层增厚,甚至下伏多年冻土层完全消失。

三江源地区湿地主要包括湖泊湿地、河流湿地和沼泽湿地。源区湖泊分布较多,面积大于 0.1km^2 的湖泊有148个,目前大多数湖泊都出现了水域面积缩小以及内陆化和盐化现象。根据水文实测资料,青海湖水位从1956年的海拔3196.94m变成1988年的海拔3193.59m,水位共下降了3.35m,累积亏水量 $1148\times 10^{10}\text{m}^3$,湖水面积减少了 301.6km^2 ;黄河源区最大的两个湖泊扎陵湖和鄂陵湖均出现了湖面明显退缩的痕迹,湖泊的水位在缓慢下降^[12];长江源区的赤布张湖(面积约 600km^2)已经萎缩解体为4个子湖;西金乌兰湖(面积约为 300km^2)已被分隔为5个子湖,推测面积缩小近2/3。其他4000多个湖泊中有2000多个已经干涸。河流流量明显减少。如黄河上游年平均流量呈显著减少趋势,九十年代多次出现断流现象。在青海省的柴达木盆地以及共和盆地,许多小溪流断流现象更为明显,不少溪流已变成季节性河流^[13]。长江源区许多山麓及山前坡地上的沼泽湿地已停止发育,部分地段出现沼泽泥炭地干燥裸露的现象。

三江源区特有的“高、干、寒”自然条件,使得以湿地为主体的生态系统十分脆弱。在寒旱环境中,湿地生态系统的结构和功能简单,受到外界干扰时,其自身的调节机制不够健全,恢复能力较

弱,一旦破坏,即发生退化和逆向演替现象。三江源区近年来出现的暖干化趋势。加上人类活动的双重干扰,是该地区湿地严重退化的原因。

3.2 对湿地生态系统结构和功能的影响

湿地的生物多样性较为丰富,它为多种无脊椎动物、冷血和热血的脊椎动物提供栖息和繁衍的场所。湿地生态环境恶化导致了生物多样性受到严重威胁,一些以高寒湿地为栖息地的生物种群数量呈现锐减状态^[4,15]。如三江源沼泽化草甸湿地的退化,导致优质牧草资源大面积消失;一些药用的湿地植物越来越少,有的甚至是还没有发现就已经消失。一些适应高寒环境的遗传基因也因高寒生物物种资源的灭绝而可能消失。在一些湿地,气候变化引起的生物群落的变化,有可能导致一些种群的变化(如有的种群可能会逐渐消失,有的种群则会产生新的变种)。

另外,由于气候变暖引起的多年冻土退化使植物根系层土壤水分减少,表土干燥,沼泽疏干;并使土壤结构、组分发生变化,从而使高寒草甸、沼泽草甸植被退化,优势植物种群发生演替。

黄桂林等^[8]统计计算了三江源区内面积 $\geq 100\text{hm}^2$ 的湿地类型、面积和流域分布。分析了湿地资源受威胁状况。湿地源头来水减少,湿地面积萎缩严重;水土流失日趋严重,湿地淤积严重;湿地周边草场退化与沙化加剧,湿地生物多样性急剧萎缩。全球气候变暖、蒸发加大直接造成冰川萎缩、雪线上移、湖泊干枯、湿沼旱化、草场严重退化等现象。董锁成、周长进等^[17]分析了三江源地区所处的生态环境地位,揭示了该区生态环境存在的问题与后果。一是掠夺性地开发资源,超载过牧,滥挖乱采黄金、虫草和草被,加速了环境退化,生态恶化形势十分严峻;二是草场退化,鼠害肆虐,畜牧业水平降低;三是水土流失、土地沙化、荒漠化面积逐年增多;四是冰川退缩、湖泊萎缩、地下水位下降、湿地退化,自然灾害逐年增多^[18]。

3.3 对湿地生态系统的温室气体源汇的影响

湿地的物理化学条件使其具有“碳汇”的功能。湿地在化学元素循环中特别是二氧化碳、一氧化二氮与甲烷等温室气体的固定和释放中起着重要“开关”作用,湿地碳的循环对全球气候变化有重要意义。由于地下水位下降,气温升高,有些湿地中原来不参与全球C循环的C也变得活跃起

来,将会由 CO_2 的“汇”变成“源”,这种汇源之间的转化已经在一些极冷的地区发生了。气候变化对湿地水文情势的影响亦会明显影响到湿地 CH_4 排放的数量及历时,研究表明^[15]“泥炭岛温度由 4°C 增加到 $20^\circ\text{C}\sim 25^\circ\text{C}$, CH_4 的产生率会增加4倍多。如果湿地变干,则 CH_4 的排放量会有所减少。冻土层的融冻将破坏草皮层,进一步加剧土壤侵蚀和退化。高寒草地土壤富含有机质,草皮层大面积被破坏,其有机质分解将释放大量的 CO_2 ,进而对全球气候产生重大影响。

4 湿地对气候变化的影响

湿地由水陆相互作用形成,具有独特的物理、化学和生物学结构和功能。湿地在全球环境变化中的地位,主要表现在湿地环境自身健康水平和湿地在全球环境长期变化中的作用。三江源区河流密布、湖泊、沼泽众多、雪山冰川广布,是世界上海拔最高、面积最大、分布最集中的地区,湿地总面积达 7.33万 km^2 ,沼泽分布率大于2.5%。区内许多湿地为世界和中国所知名。

4.1 湿地温室气体排放与气候变化

湿地,尤其是温带和热带泥炭地,是温室气体(碳)储存库。储存在全球湿地泥炭地中的碳总量为 $120\sim 260\text{Pg}$,储存在不同类型湿地中的碳约占地球陆地碳总量的15%^[15]。同时,湿地也是温室气体重要释放源。在减缓气候变化影响方面,湿地至少起两个主要作用。一是在温室气体(尤其是碳化合物)管理方面的作用;二是在物理上缓冲气候变化影响方面的作用。湿地生态系统是甲烷(CH_4)的重要“源”。由于甲烷是在厌氧条件下产生的,所以产生甲烷的土壤环境主要是各种类型的沼泽、较浅的水体及水稻田。1988年我国稻田 CH_4 排放量约为 $(17\pm 2)\times 10^{12}\text{g}$,约占全国 CH_4 总排放量 $(35\pm 10)\times 10^{12}\text{g}$ 的一半。各种天然湿地的排放量约为 $2.2\times 10^{12}\text{g}$,约占总排放量的6%左右。甲烷生产与湿地类型、水分状况、温度、土壤理化特征等因素有关。湿地生态系统也是温室气体氧化亚氮(N_2O)的“源”。氧化亚氮是仅次于 CO_2 和 CH_4 的温室气体。 N_2O 的排放源主要是土壤,高温、湿润、高碳氮含量的土壤是 N_2O 产生的最佳环境。随土壤水分含量的增加, N_2O 产生的速率出现高峰,但土壤含水量达到饱和以后, N_2O 释放率会显著下降。

三江源地区湿地的退化,必将导致大量温室气体的释放,从而加剧气候变暖。

4.2 湿地对局地小气候的影响

湿地是多水的自然体。发生在湿地能量转换中的大气、植被和土壤表面之间的辐射过程、感热和潜热交换、土壤中热传导和土壤孔隙的热量传输,发生在水文过程中的大气降水和地表地下径流的输入,湿地表面的水气蒸发、植被的蒸腾,水汽在地表和近地面大气的凝结,液态水的流动与渗透,冰雪的融化和冻结等,都直接或间接地受到气候和环境的影响,也直接或间接地影响气候和环境。研究表明^[20]湿地具有增加湿度降低温度的作用。这种增湿降温的作用与植被类型、湿地面积大小等因素有关。蒸发是耗热过程,观测结果证明,湿地蒸发是水面蒸发的2~3倍,蒸发量越大,耗热量越多,导致湿地区气温降低。强烈蒸发导致近地层空气湿度增加,气候较周边地区冷湿。

在三江源地区湿地必将对其小气候产生影响,湿地具有增湿降温的作用^[21-22]。因此,三江源区湿地的退化将减弱其对气候的调节作用,不利于缓解气候的暖干化,导致恶性循环。

5 气候变化与湿地变化研究展望

过去对湿地研究区域主要集中在受人类活动较显著的平原湿地上,而对高原湿地(如三江源湿地)涉及较少,高原湿地受人为因素干扰较少,是研究气候变化对湿地影响较理想的区域。高原湿地不仅具有调节区域小气候的生态功能,还充当着巨大的碳汇,但气候暖干化会导致湿地面积萎缩,加快泥炭分解,使湿地向碳源转化,进而加剧全球变暖的趋势。因此,应该加强对三江源地区湿地变化及其对气候变化影响的研究。当前,湿地保护已成为国际社会关注的热点,而三江源湿地对于全球气候变化、生物多样性保护等都有着重要影响。

由于湿地生态系统自身的复杂性,湿地生态系统与气候因子及其它环境因子之间的错综关系。因此,湿地生态系统对全球变暖响应的研究目前在全球范围内都是初步的,存在着许多的不确定性,因而,是未来全球变化研究中的一个重要方面。未来在全球变暖对湿地生态系统影响的研究上,不仅仅要考虑温度、降水等气象因子对生态系统结构、组成、分布、功能的影响。还要认真分析全

球变暖对湿地生态系统影响的各个方面,探讨其物理机制和反馈机理,对此问题进行综合和深入的研究,是此研究领域所面临的一个关键问题。

湿地与气候变化之间的关系是相互影响、相互作用的。保护好湿地的健康,确保淡水资源和大量食物来源的安全,这是保持全球可持续发展的关键之一。但是目前气候变化与湿地变化的研究尚处于定性描述阶段。对于湿地变化引起的气候变化的物理机理的解释方面,利用区域气候模式进行模拟不失为一种有效的手段。区域气候模式具有较高分辨率,对局地强迫引起的气候特征有较好的模拟能力。中国地处东亚季风区,地形复杂,气候多变。全球模式对这里的气候模拟经常出现偏差,使得区域气候模式的应用更加重要。

近年来,RegCM3在中国得到了应用,先后有人利用此模式对中国气温和降水进行模拟,模拟效果比较理想。但是,有关气候变化和湿地变化相互关系的定量研究还没有开展过,利用RegCM3模式,通过改变三江源地区下垫面来定量的模拟湿地变化与气候变化的关系,更准确系统地分析湿地变化的区域气候效应。在区域气候变化尺度上评价湿地的健康和功能,对湿地和区域气候变化的相互作用和相互影响进行综合分析研究。此项研究无论对于湿地在减缓气候变化方面的物理作用的机理研究,还是对于区域气候模式的应用研究,以及湿地生态功能的评价等方面都有重要的推动作用和理论意义。

参考文献

- [1] 孟宪民等.湿地与全球环境变化.地理科学,1999,19(5):385-389.
- [2] 李怀南等.三江源区生态环境面临的问题和防治对策.青海师范大学学报,2003,(4):73-75.
- [3] 张占峰等.近40年来三江源区气候资源的变化.青海环境,2001,11(2):60-63.
- [4] 李林,朱西德,周陆生,汪青春等.三江源地区气候变化及其对生态环境的影响.气象,30(8):18-21.
- [5] 李林,李凤霞等.近43年来“三江源”地区气候变化趋势及其突变研究.自然资源学报,2006,21(1):80-85.
- [6] 王根绪,李琪,程国栋,沈永平等.40a来江河源区的气候变化特征及其生态环境效应.冰川冻土,2001,23(4):346-351.
- [7] 马柱国,魏和林,符淙斌等.土壤湿度与气候变化关系的研究进展与展望.地球科学进展,1999,14(3):299-303.

(下转第43页)

表4 土壤电阻率相关分析

相关因子	相关系数	因子长度
降水	-0.177	371
1.0m 土壤地温	-0.914	371
1.0m 土壤湿度	-0.328	23
土壤冻土厚度	0.825	160
地面空气温度	-0.882	371

日土壤电阻率降低了 $83.3\Omega \cdot m$, 下降了 31.9%。但在土壤表面接近饱和的状态下, 降水影响则很小, 如 2008 年 7 月 11 日降水 42.5 mm, 7 月 12 日土壤电阻率降低了 $14.9\Omega \cdot m$, 仅下降了 10.7%。

7 实验结论

7.1 不同类型土壤的土壤电阻率不同, 沙土地的土壤电阻率要高于黑土地, 黑土地要高于盐碱地, 盐碱地土壤电阻率最低也属于甚低, 非常有利于盐碱地上风力发电机等建筑物的雷电防护。

7.2 同一地点在不同时间测得的土壤电阻率的值不同, 但变化趋势基本相同, 从夏季向冬季逐渐增大, 从冬季向夏季逐渐降低, 7 月份最低, 2 月份最高, 2 月份土壤电阻率平均值是 7 月份的 12.0 倍, 1 月份土壤电阻率平均值是 7 月份的 10.1 倍。

7.3 地下深度 1.0m、电极间距 3.0m 的土壤电阻率

同降水、1.0m 深土壤地温和 1.0m 深土壤湿度、地面空气温度均为反相关, 同冻土厚度为正相关。同 1.0m 深土壤地温、冻土厚度和地面空气温度的相关关系非常显著, 相关系数的绝对值均超过了 0.8。

7.4 根据不同类型土壤电阻率变化规律, 对防雷规范给出的土壤电阻率参数可进行本地化补充完善。在防雷工程设计中, 可在雷暴初日、终日历史极值之间查算出土壤电阻率的最大值, 或计算出需要乘以的倍数, 来设计防雷接地网, 比防雷规范给出的土壤电阻率参数更直接、更符合当地实际。

经过 1 年多的实验, 土壤电阻率的测量基本上实现了业务化, 并初步获得了一些土壤电阻率的变化规律。但由于经费有限, 测量时间短, 如果时间再长些有些规律可能更稳定、更可靠、更好用。

参考文献

- [1] 川濑太郎. 接地技术与接地系统. 北京: 科学出版社, 2002.
- [2] 梅卫群, 江燕如. 建筑防雷工程与设计. 北京: 气象出版社, 2006.
- [3] 李阳春, 朱峰, 洪欣. 专业防雷工程设计审核要点. 吉林气象, 2007(3).
- [4] 孟刚, 于宝和. 防雷接地电阻偏离真值的探讨. 吉林气象, 2008(2).

(上接第 17 页)

- [8] 黄桂林等. 青海三江源区湿地状况及保护对策. 林业资源管理, 2005, (4): 35- 39.
- [9] 罗磊. 青藏高原湿地退化的气候背景分析. 湿地科学, 2005, 3(3): 190- 198.
- [10] 白军红, 欧阳华等. 青藏高原湿地研究进展. 地理科学进展, 2004, 23(4): 3- 7.
- [11] 韦志刚, 黄荣辉等. 青藏高原气温和降水的年际和年代际变化. 大气科学, 2003, 27(2): 157- 168.
- [12] 陈桂琛, 黄志伟, 卢学峰, 彭敏等. 青海高原湿地特征及其保护. 冰川冻土, 2002, 24(3): 254- 258.
- [13] 王根绪, 沈永平, 程国栋等. 黄河源区生态环境变化与成因分析. 冰川冻土, 2000, 22(3): 200- 203.
- [14] 张建才, 周明秀等. 果洛州湿地资源现状和保护利用策略. 青海畜牧兽医杂志, 2001, 31(2): 36.
- [15] 宋长春等. 湿地生态系统对气候变化的响应. 湿地科学, 2003, 1(2): 122- 125.
- [16] 严作良, 周华坤, 刘伟, 周立等. 江河源区草地退化状况及成因. 中国草地, 2003, 25(1): 73- 78.

- [17] 董锁成, 周长进, 王海英等. “三江源”地区主要生态环境问题与对策. 自然资源学报, 2002, 17(6): 713- 719.
- [18] 殷青军, 徐维新等. 利用“3S”技术建立“三江源”地区生态环境动态监测系统. 高原地震, 2001, 3(13): 56- 61.
- [19] 傅国斌, 李克让等. 全球变暖与湿地生态系统的研究进展. 地理研究, 2001, 20(1): 120- 126.
- [20] 张芸, 吕宪国, 倪健等. 三江平原典型湿地冷湿效应的初步研究. 生态环境, 2004, 13(1): 37- 39.
- [21] 徐明德, 郭栋鹏等. 汾河太原段河滩湿地生态系统特征及其保护探讨. 科技情报开发与经济, 2005, 21(15): 181- 182.
- [22] 陈芳, 马英芳等. 长江源区近 44 年气候变化的若干统计分析. 气象科技, 2007, 35(3): 340- 344.
- [23] 张冬峰, 高学杰, 赵宗慈等. RegCM3 区域气候模式对中国气候的模拟. 气候变化研究进展, 2005, 1(3): 119- 121.
- [24] 蔡丽丽, 李国栋. 白城市近 46 年气候变化分析. 吉林气象, 2008(2).
- [25] 王少江, 王彬. 吉林西部近 50 年来的降水与空气湿度变化. 吉林气象, 2008(4).