

气候变化对我国农业旱涝灾害的影响

吕 军^{1,2}, 孙嗣阳¹, 陈丁江^{1,3}

(1.浙江大学环境与资源学院, 杭州 310029; 2.教育部环境修复与生态健康重点实验室, 杭州 310029; 3.浙江省亚热带土壤与植物营养重点实验室, 杭州 310029)

摘 要:最近几十年来,气候变化导致我国水资源的变化并给农业生产带来一系列影响,已经引起越来越多的关注。本文根据全国分区统计数据,分析了农业水旱灾害情况的变化,试图评述由气候变化引起的水资源变化对我国农业生产的影响。结果表明,气候变化对我国水资源变化的影响具有强烈的时空差异,导致了我国北旱南涝的情形加重;东北、西北和华北地区旱灾成灾比例显著上升,而华中地区、华东、华南和西南地区水灾比例有所上升。本文还就如何采取应对措施,减缓气候变化对农业水资源利用的影响,提出了看法和建议。

关键词:气候变化;水资源;农业生产;水旱灾害

中图分类号:X16 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2011)09-1713-07

Impacts of Climate Change on Agricultural Flood and Drought Damages in China

LV Jun^{1,2}, SUN Si-yang¹, CHEN Ding-jiang^{1,3}

(1.College of Environmental Science and Natural Resources, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China; 2.China Ministry of Education Key Lab of Environment Remediation and Ecological Health, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China; 3.Zhejiang Provincial Key Laboratory of Subtropic Soil and Plant Nutrition, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China)

Abstract: In recent decades, climate change impact of the variations in water resources and agricultural production in China has attracted more and more attention. Based on the national division of statistics data, this study analyzed the impact of flood and drought damages on the agricultural production to reveal the relationships between agricultural production and water resources variation caused by climate change in China. The results showed that the impacts on agricultural production by the water resources presented strong spatial and temporal variations. The situation of "flood in south and drought in north" is more serious. The proportion of drought disasters in northeast, northwest and northern China were increased significantly, while the proportion of flood disaster in central China, east, south and southwest regions were increased. Finally, we proposed some suggestions for mitigation of the impacts caused by climate change on the utilization of agricultural water resources.

Keywords: climate change; water resource; agricultural production; flood and drought disaster

全球 CO₂ 浓度增加和气温上升已经被广泛证实,但气候变化对水循环的影响仍然存在着很大的不确定性。一般认为,全球气候变暖将导致水循环过程加剧,降水总量可能增加,但水资源分布的时空变异性也将增强,如果进一步考虑人口和粮食需求的增长、社会经济的发展以及水污染的恶化,未来全球性的水危机将持续加剧^[1]。而缺水及水分分配不均的情况加剧后,需要额外增加灌溉,对农业生产有着不利影响^[2],在农作物的生殖生长阶段,气候变暖导致

土壤水分亏缺的影响尤其明显^[3],必将进一步使旱季缺水状况持续加重,作物的相对产量将持续下降^[4]。温度和降水变化还将减少植被种类的多样性,降低陆地净初级生产能力^[5]。

在过去几十年中,气候变化已经引起了我国水资源的变化,而有效水资源,历来是农业生产最重要的资源支撑和保证,更是我国农业、特别是北方旱地农作区和红壤粮食主产区的主要限制性因素,我国大约 70% 的谷物生产依赖于灌溉农田^[6],农业水资源的状况直接关系到我国的粮食安全。近 50 年来的资料分析已经表明^[7],气候变化正在改变着我国水循环情况,对我国农业水资源总量、时空分布以及有效供应产生重要影响,进而加剧了农业水资源有效利用的不确定

收稿日期:2011-03-19

基金项目:公益性行业(农业)科研专项经费项目(200903003)资助

作者简介:吕 军(1958—),浙江永康人,从事农业水资源与水环境研究。E-mail: jlv@zju.edu.cn

性和脆弱性,包括降水减少、降水时空分布不均的加剧(如极端气候事件),以及我国中部和南方地区的洪涝灾害频率增加等。然而,气候变化对不同地区、不同季节的水资源和农业利用的影响具有很大的差异性。因此,进一步揭示我国各分区水循环过程受气候变化影响的特征与发展趋势、不同空间尺度的水循环和水分平衡对气候变化的响应规律,以及典型农作物和不同土壤类型的田间水分供需平衡对气候变化的响应关系等,将成为我国农业应对气候变化亟需解决的重要问题。

1 气候变化与农业气象灾害

我国幅员辽阔,各大区的气候控制系统、水文地质环境、农业种植体系和产业结构以及土壤植被条件都存在着巨大的差异,不同地区的水资源情况受气候变化影响的方式和程度有很大的差异,农业生产对这些变化的响应不尽相同。气候变化对农业的影响有利有弊,存在区域性差异,但近年来逐渐以负面影响为主。造成重大危害和损失的农业非生物灾害主要表现为气象灾害,而其中最主要的就是干旱和洪涝灾害。北方缺水地区的持续干旱,以及黄河、海河等流域的不时断流,加剧了北方水资源的短缺;然而由于我国降水时空分布不均,使南方大范围洪涝灾害频繁发生,特别是进入 20 世纪 90 年代以来,长江、珠江、太湖等流域连续发生多次洪水,使我国北旱南涝的局面有所加剧。

1.1 北方气象干旱与旱灾

IPCC 第二工作组第四次评估报告指出,未来干旱影响的地区可能增加,农业旱灾可能加剧导致农田退化,作物受损和欠收^[8]。从 1950 年以来,北方主要的农业区干旱范围有明显的扩大趋势,根据李茂松等^[9]研究,我国每年旱灾面积达 $2\,114\times 10^4\text{ hm}^2$,约占全国播种总面积的 14.9%,其中成灾面积约为 $912.5\times 10^4\text{ hm}^2$,占全国播种面积的 6.3%。1950—2000 年各年代全国平均受旱面积或成灾面积都有发展趋势(表 1)。1999—2001 年 3 年连续干旱,灾害影响到 10 多个省(市、区),3 年平均受灾面积达 $3\,638\times 10^4\text{ hm}^2$,成灾面

积 $2\,237\times 10^4\text{ hm}^2$,与 1959—1961 年 3 年连续干旱相比,成灾面积增加了 $704\times 10^4\text{ hm}^2$,是建国以来干旱最严重的一次^[10]。

以东北辽宁地区来看,50 年代以来,辽宁省降水出现明显减少趋势。根据大连、丹东、辽阳、沈阳、铁岭、朝阳等 1950—1989 年的年平均降水量及以 10 年为单位平均值的年代际变化分析,80 年代比 50 年代显著减少,30 年间,各地减少的幅度介于 40.5 mm(大连)~132.2 mm(沈阳),全省平均约减少 94.0 mm,减少幅度达 15%以上。全省干旱普遍,且逐年扩大^[12]。旱灾受灾面积由上世纪 50 年代 10 年总和的 $51.3\times 10^4\text{ hm}^2$ (占全省耕地总面积 1.1%),到 80 年代干旱受灾总面积的 $1\,017.2\times 10^4\text{ hm}^2$, (占全省耕地总面积 28%),再到 2000 年一年全省干旱受灾面积为 $52.7\times 10^4\text{ hm}^2$,一年的干旱受灾面积就是 50 年代 10 年的旱灾受灾面积的总和。虽然其中可能有由于垦殖面积变化所带来的影响,但旱灾发生频率增加,周期缩短,危害加重的趋势十分明显。而 1984—2008 年间,旱灾成灾面积在波动中呈明显的上升趋势(图 1)。1990 年以前,水灾和旱灾的成灾面积占耕地面积的比例分别约 5%和 10%,90 年代旱灾成灾比例接近 10%,进入 21 世纪达到 20%~40%,而水灾的成灾比例一直不到 5%(90 年代中期较高,曾达 15%)。

1.2 南方极端气候与洪涝灾害

与在气候变暖的背景下北方地区的降水普遍减少形成鲜明对比的是,长江中下游地区和华南南部,近半个世纪以来的降水量有增加的趋势。20 世纪 90 年代到 21 世纪初,长江、淮河等流域都出现了历史上罕见的洪涝灾害。依据 1958—1999 年月平均观测记录,发现长江流域降水有非常明显的年代际变化,转折期为 70 年代末,90 年代的多发性洪涝与 60 年代的持续干旱形成了鲜明对比^[13-14]。特别是 20 世纪 90 年代是长江流域地区继 50 年代以来最高发的 10 年,其中 1991、1995、1996、1998 和 1999 年是 5 个洪水严重的年份,并且每一次洪水都伴有严重的极端降水事件^[15]。例如 1998 年的夏季,长江流域出现了异常频繁、特别集中的强降水事件,不少地区出现日降水量

表 1 我国不同年代年平均旱灾情况

Table 1 The annual average area of the drought disaster in different periods in China

时段/10a	1950—1959	1960—1969	1970—1979	1980—1989	1990—1999	2000—2008
年均受灾面积($\times 10^4\text{ hm}^2$)	1 160	1 792	2 612	2 446	2 491	2 461
年均成灾面积($\times 10^4\text{ hm}^2$)	360	846	750	1 176	1 197	1 461

注:据中国统计年鉴数据整理^[11]。

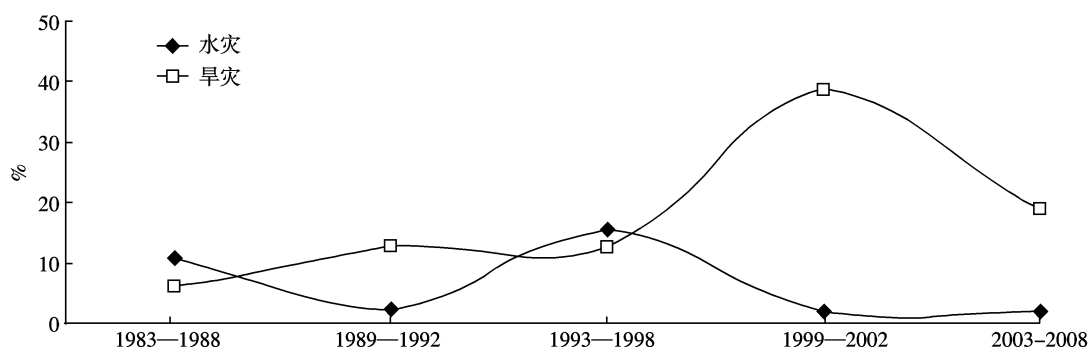


图1 辽宁省1983—2008年粮食作物水旱灾害成灾面积比例变化趋势

Figure 1 The flood and drought disaster in grain production percentage in the years from 1983 to 2008 in Liaoning Province

超过历史最高记录的情况。所以极端降水事件频繁出现,是导致洪灾的直接原因。

全国统计资料显示^[11],1950—1990年,长江流域(除太湖流域)农作物累计受灾面积达 $6\,407\times 10^4\text{ hm}^2$,成灾面积 $3\,387\times 10^4\text{ hm}^2$,平均每年受灾农田为 $156.2\times 10^4\text{ hm}^2$,成灾 $82.5\times 10^4\text{ hm}^2$,损失粮食 $211\times 10^8\text{ kg}$ 。其中受灾面积超过平均值的有16 a,80年代有8次,其中1983和1989年的受灾面积都超过了 $333.3\times 10^4\text{ hm}^2$ 以上。由于我国南方强降水事件的增加和台风数目和登录数的增加,导致洪涝灾害进一步加重。

浙江省地处我国东南沿海,受季风气候系统控制,四季分明,多年平均降水量达1 600 mm,雨季集中,梅雨和台风常带来洪涝灾害,而夏秋季的季节性干旱又常常成灾。浙西南衢州地区降水资料的月降水和季节降水分析结果表明,常见雨季月降水量多达600 mm以上,少则整月无雨,夏秋季干旱特别严重。

近50多年来浙江省气候变化总趋势在逐渐变暖,80年代中期开始变暖明显、增幅加大:1990—2005年平均温度比1970—1989年高0.8℃。受气候变暖影响,大气环流发生变化,5月份降水显著偏少;8月份,多台风,台风年频数增加,容易发生强降水而

形成“台涝”。因此,浙江省汛期各月降水量发生显著变化:在5月和9月的季节转换月份,降水量明显减小,而夏季降水量明显增加,8月尤甚。近50年气候变化统计分析结果表明^[16],梅汛期、台汛期或整个汛期的降水特少和特多事件(降水距平超过 $\pm 50\%$)增幅分别为30%、23%和27%,旱涝事件出现的平均年频数则分别增加了36%、52%和38%。尽管浙江以四季分明、雨水充足而著称,但近30年来降水等极端气候事件增加,使浙江省粮食作物旱灾的成灾面积比例呈上升趋势,而水灾在较大波动中有一定的上升趋势(图2)。21世纪初,旱灾成灾比例接近10%,而上世纪90年代前均在5%以下。

2 全国农作物水旱灾害的变化和发展态势的统计分析

据估计^[17],1950—1993年全国农业旱灾面积平均为每年 $2\,000\times 10^4\text{ hm}^2$,成灾面积均为每年 $1\,100\times 10^4\text{ hm}^2$,但其中80年代,农业旱灾受灾面积每年平均达 $2\,500\times 10^4\text{ hm}^2$,成灾面积每年达 $1\,400\times 10^4\text{ hm}^2$,农业灾害总体呈上升趋势。中国农业水灾(包括洪、涝)主要集中在分布在广大的东部地区的低湿平原及大江大

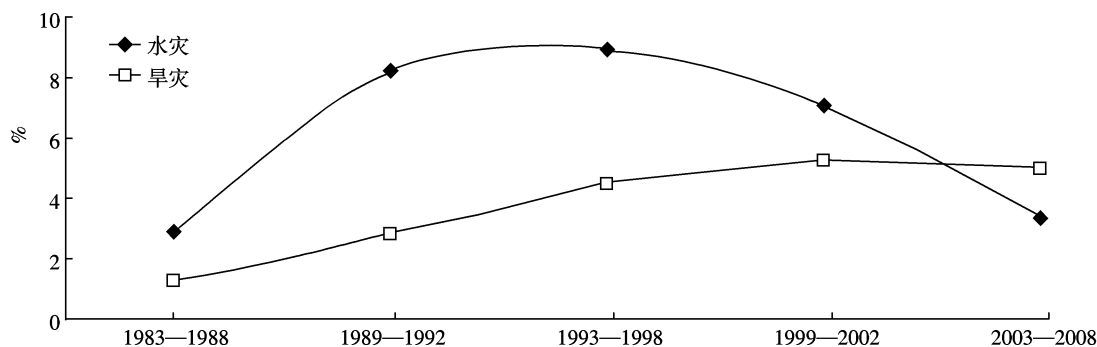


图2 浙江省1983—2008年粮食作物水旱灾害成灾面积比例变化趋势

Figure 2 The flood and drought disaster in grain production percentage in the years from 1983 to 2008 in Zhejiang Province

河沿岸地区,其中东南沿海地区是全国受洪涝灾害次数最多、范围最大的地区。旱灾则全国各地均有分布。由于气候状况及其变化的时空差异,我国各省区农业生产受气候变化的影响相差很大。

史培军等^[18]对 1980—1993 不同省区省会城市的农作物气候产量与其年均降水量的分析表明,粮食生产与降水量有明显的相关性,而温度的变化只在某些地区对粮食生产影响明显。全国各省(区)农业水、旱灾害的成灾面积比例愈大,则相应的减产的比例也就愈大。全国因灾(包括水旱灾、风雹灾、霜冻、病虫害)减产的比例平均为 15.3%。北方各省因灾减产比例较南方偏大;西北从宁、甘的资料看,处在全国平均水平。全国在 80 年代后期达到最高值(17.8%),90 年代初期略有下降,达 13.2%,显示出 1980—1993 年期间,减产比例的波动。就各省(区)来看,河北、山东、江苏、河南、浙江、湖北、湖南等产粮大省,因灾粮食减产的比例一直处在增长的状态^[18]。

在各类农业灾害中,气象灾害造成损失约 40%,即达同期粮食生产的 6%左右。主要粮产区水旱灾害导致的减产比例持续提高,是 1984 年以来制约中国粮食产量持续增长的一个主要原因。因此,应对气候变化,减轻农业自然灾害对增加中国粮食生产有着重要的意义。根据全国年鉴统计资料^[19],近 30 年来我国农业生产无论在基础建设还是在技术水平上都得到

很大的发展,虽然农业水资源占全社会的耗水比例在不断下降,但农业用水总量并没有明显减少。在这样的条件下农业水旱灾害比例的变化,可能较客观地反映了气候变化对我国农业生产影响的情况。根据统计^[11],1983—2008 年间我国各大区粮食作物水旱灾害面积占总播种面积比例的变化情况如下。

(1)近 30 年间,我国北方地区旱灾面积比例都有显著的上升趋势,华北、西北的水灾变化不明显,只有东北地区的水灾有一定的下降趋势(图 3)。

(2)华东与华中地区旱灾面积比例呈现较大波动,趋势不明显,而水灾在波动中呈上升趋势(图 4)。

(3)西南与华南地区水旱灾害均呈现出在较大波动中有上升的趋势(图 5)。

可见,旱灾成灾比例显著上升的是东北、西北和华北地区,而水灾成灾比例明显上升的是华中地区,华东、华南和西南地区水灾比例也有所上升。这里,尽管农业水旱灾害比例的变化,可能还与区域水文地理条件和社会发展情况以及统计方式有关,但基本上能反映我国气候变化对农业生产影响的南北分异大格局。从全国总体来说,近 50 年来我国的旱灾成灾面积和旱灾粮食损失量一直处于不断上升的趋势中^[17](图 6)。

3 基本结论和对策

气候变化必然导致水循环的变化,而水循环总量

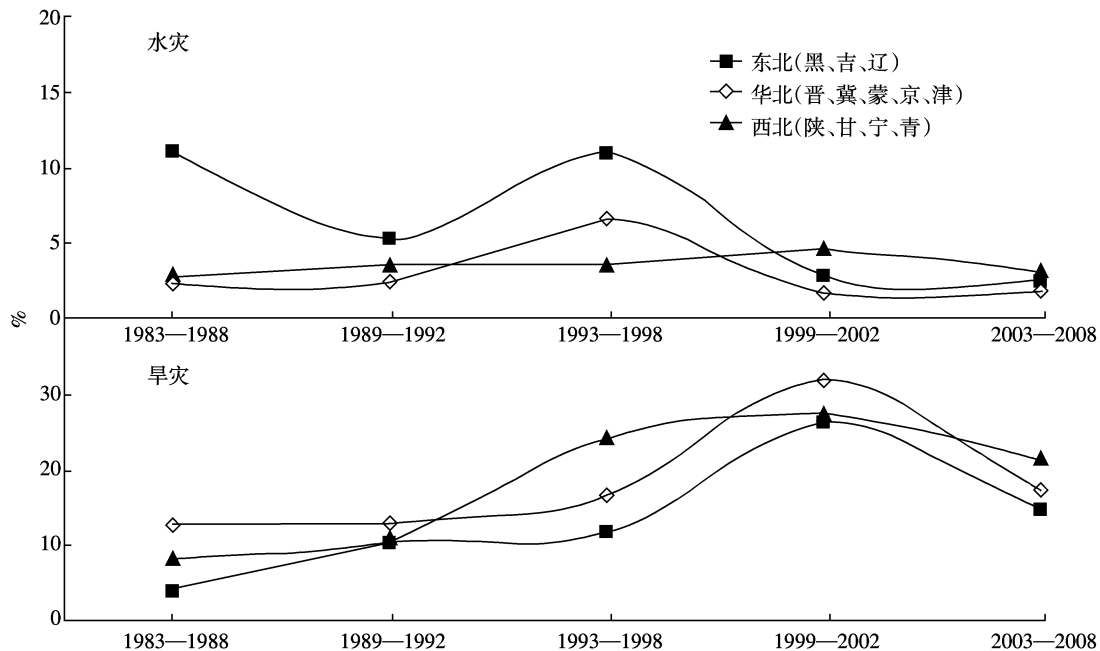


图 3 我国东北、华北、西北地区 1983—2008 年水旱灾受灾面积占播种面积百分比

Figure 3 The flood and drought disaster areas in planted acreage percentage in the years from 1983 to 2008 in the Northeast, North and Northwest of China

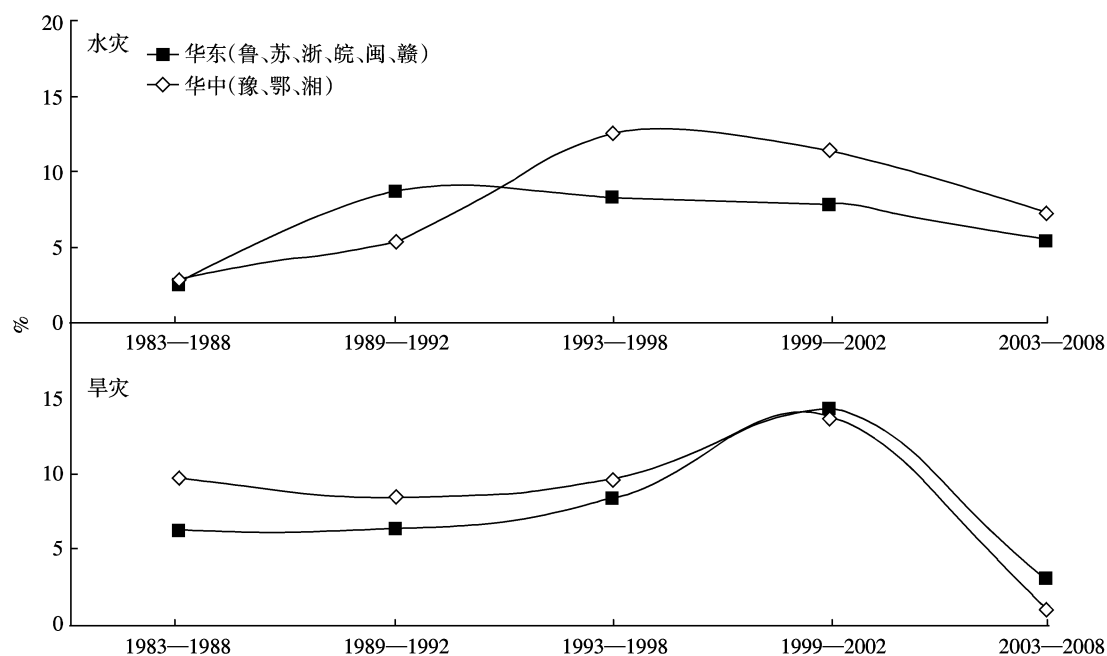


图4 我国华东、华中地区1983—2008年水旱灾受灾面积占播种面积百分比

Figure 4 The flood and drought disaster areas in planted acreage percentage in the years from 1983 to 2008 in East and Middle of China

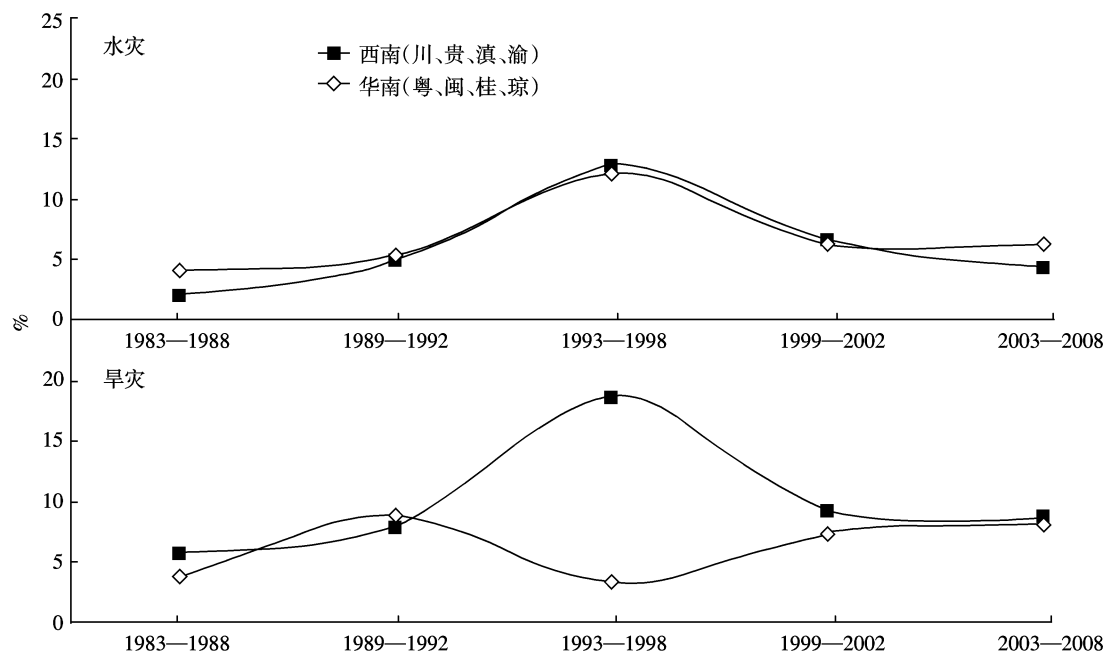


图5 我国西南、华南地区1983—2008年水旱灾受灾面积占播种面积百分比

Figure 5 The flood and drought disaster areas in planted acreage percentage in the years from 1983 to 2008 in Southwest and South of China

决定着水资源总量。农业水资源有效性不仅仅取决于水循环总量,还受到降水时空分布的极大影响,同时还与区域水文地质环境和人类社会的发展形态密切相关。因此,尽管气候变化对不同地区的水资源的影响仍然具有很大的不确定性,特别是各类大尺度的模拟研究可能得出多种多样的、甚至是相互矛盾的结

果,但从最近几十年来统计资料的分析可以推断,气候变化将给我国农业、特别是粮食生产带来更大的缺水压力,包括降水减少、降水时空分布不均的加剧(如极端气候事件)和土壤水分损失加剧等;而我国中部和南方地区的洪涝灾害也有更为频繁的趋势。我们的基本结论是,在目前的科技和社会管理水平下,气候

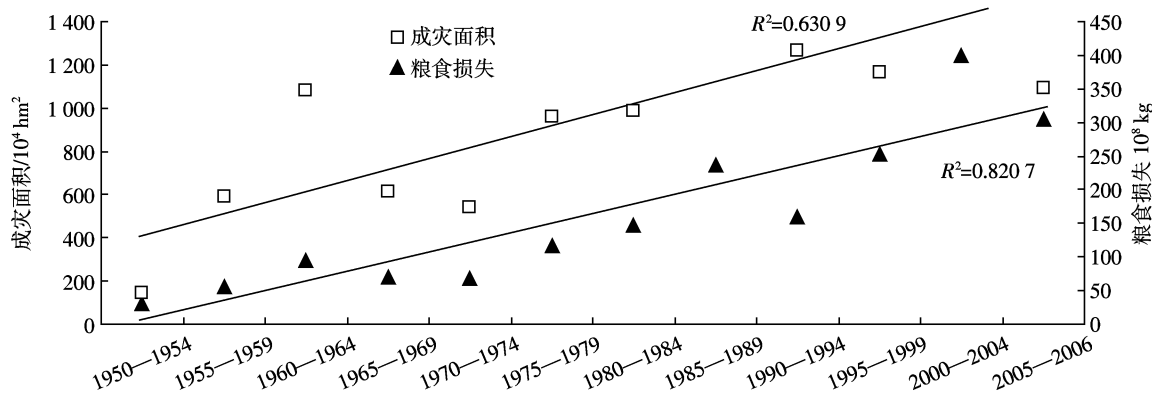


图 6 1950—2004 年全国粮食作物旱灾害面积变化及其减产情况统计

Figure 6 The change of drought disaster in grain crop areas and crop failures in the years from 1950 to 2004 in China

变化和社会经济发展必将加剧农业水资源有效利用的不确定性和脆弱性。

针对我国的实际情况,如何采用应对措施,减缓今后几十年内气候变化对农业水资源利用的影响,将关系到我国的粮食安全、生态安全和社会经济可持续发展的重大战略问题。提高我国农业生产应对气候变化造成农业水资源利用压力的能力,减弱农业水资源保障系统的脆弱性,是一个非常复杂的多学科深度交叉的重大科技问题;由于气候变化对农业水资源利用影响的多样性和复杂性,具体的应对措施也必然是多种多样的。因此,关注气候变化对水资源利用的影响,仅仅从全国平均或全年平均来进行评价分析并没有太大的意义,需要进一步分析和认识我国各大流域水循环过程受气候变化影响的特征与发展趋势,研究不同空间尺度的水循环和水分平衡对气候变化的响应以及典型农作物和土壤的田间水分供需平衡对气候变化的响应^[20]。而提高流域和灌区水循环调节、控制能力,是提高流域或区域有效水资源总量的根本应对策略;同时,提高灌溉用水效率、广泛推广农业节水技术和增强农田土壤储水保墒能力,对于我国农业的可持续发展具有重要的实际意义,也是应对降雨时间分布不均匀性和大(暴)雨出现频率增加的重要措施。另一方面,面对越来越大的农业水资源利用的压力,实施更严格的农业用水管理,包括农业用水的水权管理、单位产量的耗水考核、促进节水农业发展的政策和激励手段等,应该成为应对气候变化对农业水资源利用影响不可缺少的重要方面。

参考文献:

[1] Oki T, Kanae S. Global hydrological cycles and world water resources[J]. *Science*, 2006, 313:1068.

[2] Tao F L, Masayuki Y, Yousay H, et al. Future climate change, the agricultural water cycle, and agricultural production in China [J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2003, 95:203-215.

[3] Seghieri J, Vescovo A, Padel K, et al. Relationships between climate, soil moisture and phenology of the woody cover in two sites located along the West African latitudinal gradient[J]. *Journal of Hydrology*, 2009, 375:78-89.

[4] Harmsen E W, Norman L M, Nicole J S, et al. Seasonal climate change impacts on evapotranspiration, precipitation deficit and crop yield in Puerto Rico[J]. *Agricultural Water Management*, 2009, 96:1085-1095.

[5] 刘彦随, 吴传钧. 中国水土资源态势与可持续食物安全[J]. *自然资源学报*, 2002, 17(3):270-275.

LIU Yan-sui, WU Chuan-jun. Situation of land-water resources and analysis of sustainable food security in China[J]. *Journal of Natural Resources*, 2002, 17(3):270-275.

[6] Piao S L, Philippe C, Yao H, et al. The impacts of climate change on water resources and agriculture in China[J]. *Nature*, 2010, 467(2):43-51.

[7] 邓慧平, 祝延成. 全球气候变化对松嫩草原土壤水分和生产力影响的研究[J]. *草地学报*, 1998, 6(2):147-152.

DENG Hui-ping, ZHU Yan-cheng. Impacts of climate change on soil water balance and grassland productivity in the Songnen Steppe[J]. *Acta Agrectir Sinica*, 1998, 6(2):147-152.

[8] IPCC. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Solomon S, Qin D, Manning M, et al. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007.

[9] 李茂松, 李 森, 李育慧. 中国近 50 年旱灾灾情分析[J]. *中国农业气象*, 2003, 24(1):7-10.

LI Mao-song, LI Sen, LI Yu-hui. Studies on drought in the past 50 years in China[J]. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2003, 24(1):7-10.

[10] 邓振镛, 张 强, 尹宪志, 等. 干旱灾害对干旱气候变化的响应[J]. *冰川冻土*, 2007, 29(1):114-118.

DENG Zhen-yong, ZHANG Qiang, YIN Xian-zhi, et al. Response of drought damage to arid climate change [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2007, 29(1):114-118.

[11] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴 1983—2009[M]. 北

- 京:中国统计出版社,1983—2009.
- National Bureau of Statistics of China, China Statistical Yearbook 1983—2009[M]. Beijing: China Statistics Press, 1983—2009.
- [12] 金向维. 气候变化对辽宁省水资源的影响及对策[J]. 水资源保护, 2003, 2: 35—38.
- JIN Xiang-wei. Effect of climatic change on water resources and countermeasure for mitigation in Liaoning Province[J]. *Water Resources Protection*, 2003, 2: 35—38.
- [13] 张 琼, 刘 平, 吴国雄. 印度洋和南海海温与长江中下游旱涝[J]. 大气科学, 2003, 27(6): 992—1006.
- ZHANG Qiong, LIU Ping, WU Guo-xiong. The relationship between the flood and drought over the lower reach of the Yangtze River valley and the SST over the Indian Ocean and the South China Sea[J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 2003, 27(6): 992—1006.
- [14] 翟盘茂, 李茂松, 高学杰, 等. 气候变化与灾害[M]. 北京: 气象出版社, 2009: 71—72.
- DI Pan-mao, LI Mao-song, GAO Xue-jie, et al. Climatic Change and Damage[M]. Beijing: China Meteorological Press, 2009: 71—72.
- [15] 水利部长江水利委员会. 长江流域水旱灾害[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2002: 33.
- Changjiang Water Resources Commission. Flood and Drought Disasters of the Changjiang Watershed[M]. Beijing: China Water Power Press, 2002: 33.
- [16] 钟 元, 顾骏强, 滕卫平, 等. 浙江省汛期旱涝趋势对气候变暖的响应[J]. 浙江大学学报(理学版), 1997, 34(1): 106—114.
- ZHONG Yuan, GU Jun-qiang, TENG Wei-ping, et al. Trends of drought and flood in Zhejiang Province respond to climatic warming[J]. *Journal of Zhejiang University (Science Edition)*, 1997, 34(1): 106—114.
- [17] 马宗晋. 中国重大自然灾害及减灾对策(总论)[M]. 北京: 科学出版社, 1994.
- MA Zong-jin. China's major natural disasters and mitigation measures (General Information)[M]. Beijing: China Science Press, 1994.
- [18] 史培军. 中国自然灾害、减灾建设与可持续发展[J]. 自然资源学报 1995, 10(3): 267—278.
- SHI Pei-jun. The natural disasters, constructions works for disaster reduction and sustainable development of China[J]. *Journal of Natural Resources*, 1995, 10(3): 267—278.
- [19] 史培军, 王静爱, 谢 云, 等. 最近 15 年来中国气候变化、农业自然灾害与粮食生产的初步研究[J]. 自然资源学报, 1997, 12(3): 197—203.
- SHI Pei-jun WANG Jing-ai, XIE Yun, et al. Climatic change, natural disasters of agriculture and grain yields in China during the past 15 years[J]. *Journal of Natural Resources*, 1997, 12(3): 197—203.
- [20] 潘根兴. 气候变化对中国农业生产的影响分析与评估[M]. 中国农业出版社, 2010.
- PAN Gen-xing. Analysis and evaluation for impacts of climate change on agricultural production in China[M]. Beijing: Agricultural Publisher of China, 2010.