

气候变化对中国农业用水和粮食生产的影响

吴普特, 赵西宁

(西北农林科技大学 中国科学院水利部水土保持研究所 国家节水灌溉杨凌工程技术研究中心, 杨凌 712100)

摘要: 全球气候变暖作为一个不争的客观事实, 不可避免地会对中国农业用水和粮食生产产生影响。该文分别采用 Palmer 干旱指数 (PDSI)、单位灌溉面积用水量 (GIQ)、单位面积粮食产量 (PHGO) 作为气候变化、农业用水和粮食生产具体度量指标, 分析了中国 1949—2005 年 PDSI、GIQ、PHGO 年际变化特征及其相关关系, 发现在 1949—1983 年 PHGO 和 1949—1990 年 GIQ 均与 PDSI 具有较好线性相关关系, 表明气候变化在上述时间段对农业用水和粮食生产影响显著, 人为因素 (技术进步、政策机制、生产投入等) 影响相对较小。依据相关关系对 1949—2005 年 GIQ 和 PHGO 进行预测发现, 1991—2005 年 GIQ 和 1984—2005 年 PHGO 预测值与实际值拟合程度较差, 表明人为因素 (技术进步、政策机制、生产投入等) 在农业用水和粮食生产中已逐渐占据主导地位, 对农业节水平均影响率达 27% 以上, 对粮食增产平均影响率达 40% 以上。通过技术创新、政策机制保障和生产投入增加等人为因素控制, 可在一定程度上缓解气候变化对中国农业用水和粮食生产带来的负面影响。

关键词: 气候变化, 农业, 水, 粮食产量

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2010.02.001

中图分类号: S162, S271

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2010)-02-0001-06

吴普特, 赵西宁. 气候变化对中国农业用水和粮食生产的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26(2): 1—6.

Wu Pute, Zhao Xining. Impact of climate change on agricultural water use and grain production in China[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(2): 1—6. (in Chinese with English abstract)

0 引言

全球气候变化作为一个不争的客观事实, 已成为 21 世纪世界各国普遍关注与重视的热点问题。近 1 个世纪以来 (1906—2005 年), 全球平均地表温度上升了 $0.74^{\circ}\text{C}^{[1-2]}$, 1908—2007 年中国地表平均气温升高了 $1.1^{\circ}\text{C}^{[3]}$ 。尽管中国气候变化趋势与全球气候变化趋势一致, 但在某些方面表现更加剧烈, 中国出现极端天气, 如强暴雨、强雷暴、干旱化等较为频繁, 这无疑给中国的农业用水和粮食生产提出了严峻的挑战。联合国政府间气候变化专门委员会 (Intergovernmental Panel on Climate Change) 和联合国粮食及农业组织 (Food and Agriculture Organization of the United Nations) 都将农业列为最易遭受气候变化影响、最脆弱的产业之一, 特别是发展中国家的农业。气候变化对中国的水土资源供给带来很大影响, 从而影响到中国粮食生产^[4-5], 特别是在干旱和半干旱条件下, 气候变化对降水格局变化的影响甚至超过了 CO_2 浓度和温度升高单一因子或两因子共同作用的影响^[6-7]。尽管气候变暖在中国部分地区可能导致降水增加, 但由于水分蒸发量增大, 最终仍将使土壤有效水分减少, 导致作物受旱减产^[8-9]。根据气候变化模拟结果, 气候变化在未来 50~100 a 还将进一步加剧, 其不

可避免地会对中国农业灌溉用水量和粮食安全生产产生影响。因此, 从宏观角度上研究气候变化对中国农业用水和粮食生产的影响具有重要意义。

1 数据来源与方法

通过 Palmer 干旱指数 (Palmer drought severity index, PDSI) 来描述气候年际间的变化特征, 并分析气候变化对中国 1949—2005 年农业用水和粮食生产的影响。Palmer 干旱指数 (PDSI) 所需相关气象数据是基于栅格网络, 其具体做法是把全球按经纬度每 2.5° 划分作为一个栅格单元, 每个栅格单元气象数据可从其气象观测站点获得^[10-11]。根据中国主要耕地面积分布情况, 利用耕地分布中心位置经纬度所属栅格单元, 进行 PDSI 计算所需气象数据资料的收集, 并根据耕地面积大小的权重进行气象数据的分析, 最终计算出一个能综合反应全国气候变化对粮食产量影响的 57 a 序列逐月的干旱指数数值, 并把 5—9 月 PDSI 的平均值作为该年的干旱指数。同理, 根据中国主要灌溉面积分布情况, 计算出能综合反应全国气候变化对灌溉用水影响的 57 a 序列的干旱指数数值。全国耕地面积、粮食产量、粮食播种面积、灌溉面积和灌溉用水量资料分别来源于中国农业统计资料汇编 (1949—2004 年) 和新中国 55 a 统计资料汇编 (1949—2004 年) 以及中国水资源公报^[12-14]。单位灌溉面积农业用水量 (gross irrigation quota, GIQ) 由全国灌溉用水量与灌溉面积比值获得; 单位面积粮食产量 (per-hectare grain output, PHGO) 由全国粮食总产量与粮食播种面积比值获得。根据单位灌溉面积农业用水量、单位面积粮食产量和 Palmer 干旱指数数据, 采用统计学方法来定量分析气候变化对中国不同时期灌溉用水和粮食产量影

收稿日期: 2009-11-25 修订日期: 2009-01-06

基金项目: 国家 863 计划项目 (2006AA100217); 国家科技支撑计划项目 (2007BAD88B10); 国家自然科学基金项目 (40701092)

作者简介: 吴普特 (1963—), 男, 陕西武功人, 教授, 博士生导师, 中国农业工程学会会员 (E041200091S), 主要从事水土保持与节水农业方面的研究。杨凌 中国科学院水利部水土保持研究所 国家节水灌溉杨凌工程技术研究中心, 712100。Email: Gjzwpt@vip.sina.com

响,即分析单位灌溉面积农业用水量和 Palmer 干旱指数以及单位面积粮食产量和干旱指数的关系。

2 结果与分析

2.1 气候变化特征分析

将以中国主要耕地面积(包括灌溉面积和旱地面积)为对象所得到的 1949—2005 年 5—9 月份的干旱指数数据列成图 1,用于反映中国粮食生产区域气候变化状况;将以中国主要灌溉面积为对象所得到的 1949—2005 年的干旱指数数据列成图 2,用于反映中国灌溉区域气候变化状况。图 1 与图 2 中实线是 PDSI 的实际计算值,虚线是 PDSI 发展趋势。PDSI 正值表示气候处于湿润状态,其大小反映湿润程度,PDSI 负值表示气候处于干旱状态,其大小反映气候干旱程度,0 值表示气候处于正常年份。

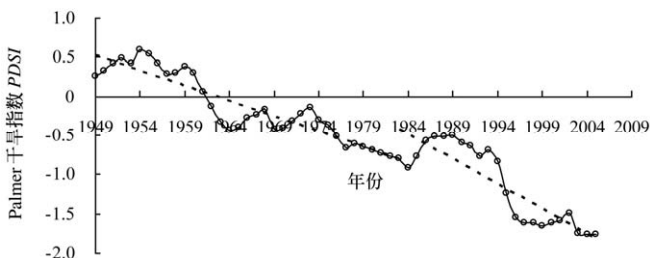


图 1 以中国主要耕地面积为对象的 1949—2005 年 5—9 月平均 PDSI 值

Fig.1 Average Palmer drought severity indexes(PDSI) from May to September during 1949-2005 taking the main arable land area in China as object

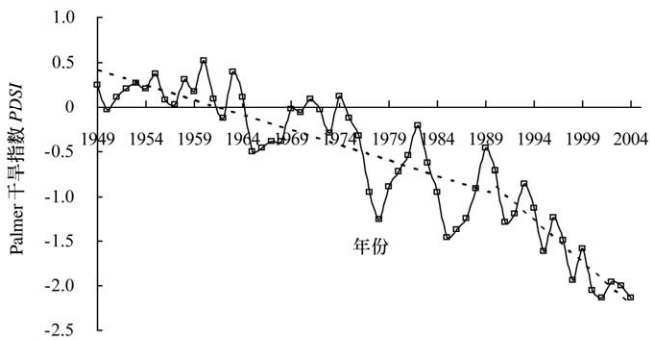


图 2 以中国主要灌溉面积为对象的 1949—2005 年年平均 PDSI 值

Fig.2 Average PDSI from 1949 to 2005 taking the main irrigation area in China as object

从图 1 中可以看出,1949—2005 年中国气候年际变化较为显著,且 PDSI 值总体上呈明显下降趋势,表明中国气候变化正在向干旱化趋势方向发展。1949—1983 年,PDSI 值以每年 0.0394 趋势减小;1983—2005 年,PDSI 值下降趋势更加明显,每年平均减小为 0.06333,尤其是在 1995 年以后,其下降幅度更大。图 2 和图 1 的 PDSI 值具有相似的变化趋势,即也呈明显下降趋势,差别主要在于 1990 年以后变化趋势更加剧烈。图 2 中,1949—1990 年,PDSI 值以每年 0.04 趋势减小,1991—2005 年,PDSI 值下降趋势更加明显,平均每年减小 0.12。

2.2 粮食产量变化特征分析

粮食生产可用粮食播种面积、粮食产量、单位面积粮食产量等指标来表示。1949—2005 年(见图 3、4),中国粮食总产量和单位面积粮食产量总体呈现增长态势,中国粮食以亿吨级的数量连续跃升了 4 个台阶,即从 1949 年的 11 318 万 t,经过 20 000 万 t(1958 年)、30 476 万 t(1978 年)、40 473 万 t(1987 年)跃升到 1996 年的 50 545 万 t,并于 1998 年达到历史最高值 51 229 万 t。从图 3 中分析可以看出,50 a 间中国粮食作物种植面积稳中有降,主要在 109 959~136 339 km² 范围内波动,20 世纪 90 年代粮田平均面积较 50 年代高限减幅为 10.9%,而 20 世纪 90 年代粮食单产较 50 年代提高 2 698 kg/hm²,增幅达 196.6%。中国粮食产量增加,并不是通过扩大种植面积,而是依靠单位面积粮食产量的提高来实现的,因此,可用单位面积粮食产量指标来对历年粮食变化特征进行分析。

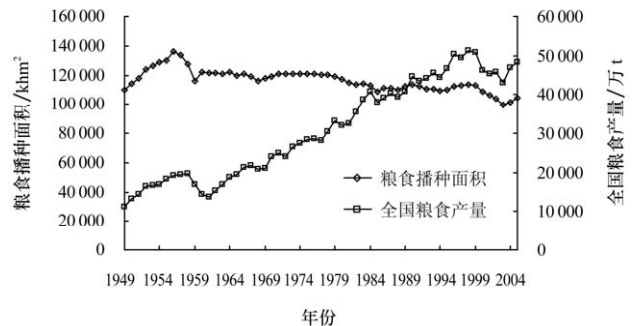


图 3 中国历年粮食播种面积与粮食总产量状况图

Fig.3 Time series of grain sown area and total grain output in China

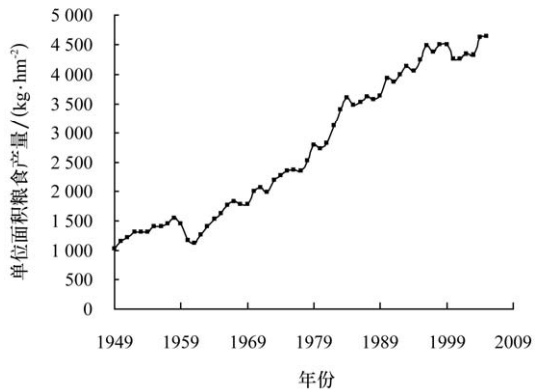


图 4 中国历年单位面积粮食产量分布状况

Fig.4 Time series of grain yield per unit area in China

从图 3、4 中也可看出,在 1959—1961 年和 1999—2003 年 2 个阶段,出现粮食总产量和粮食单产的减小。影响粮食单位面积产量因素主要有自然因素和人为因素,自然因素主要是气候因素,人为因素主要是技术水平(如良种培育、耕作栽培、农业节水技术等)、可控农业生产投入(如农业劳动力投入、农资投入、农业设备投入)、政策机制等因素。分析上述 2 个阶段粮食产量下降的原因,是自然因素和人为因素综合作用结果,但人为因素占主导地位。1959—1961 年,气候虽向干旱化方向发展,但仍处于湿润年份,PDSI 平均值为 0.25。从人

为因素分析，主要是由于“大跃进”和“人民公社化运动”等所造成的。1999—2003 年中国出现粮食产量下降原因有自然因素和群众种粮积极性减小等因素，这时期 $PDSI$ 平均值为 -1.62 ，为干旱性气候特征，可能是影响粮食单产的因素之一，但从人为因素来看，粮食政策是导致粮食产量波动的主要原因之一，长期严重扭曲粮价政策加剧了粮食产量波动，扣除投入成本后，粮食价格不能保证农民劳动投入与从事非农产业获得同等报酬，导致农民种粮积极性下降，这是 1999—2003 年期间粮食产量一路下滑的重要原因^[15]。

2.3 气候变化与粮食产量相关性分析

单位面积粮食产量受气候变化以及人为因素的双重影响。为定量研究气候变化对粮食单位面积产量的影响，根据气候变化特征，采用干旱指数 ($PDSI$) 与单位面积粮食产量 ($PHGO$) 进行相关分析发现，在 1949—1983 年， $PHGO$ 和 $PDSI$ 的线性相关性较好 (见图 5)，基于这种相关关系建立了 $PHGO$ 和 $PDSI$ 之间的线性回归方程，具体如下

$$PHGO = -1094.4PDSI + 1668$$

线性回归方程决定系数为 0.7611 ，自变量为 $PDSI$ ，即气候影响因素，因变量为单位面积粮食产量 $PHGO$ 。因此，可认为在 1949—1983 年，气候因素对中国粮食生产具有主导作用，人为因素 (技术进步、政策机制、农业生产投入等) 在此阶段所起作用相对较小，这也与我国主要粮食作物品种改良、农田灌溉、化肥农药大量使用等技术进步因素发展的实际历程基本吻合，也与农村家庭联产承包责任制实施时间相吻合，也与农业生产投入的大幅度增加密切相关。同时，利用线性回归方程计算出 1949—2005 年预测的 $PHGO$ ，并将其预测值和实际值列成图 6。

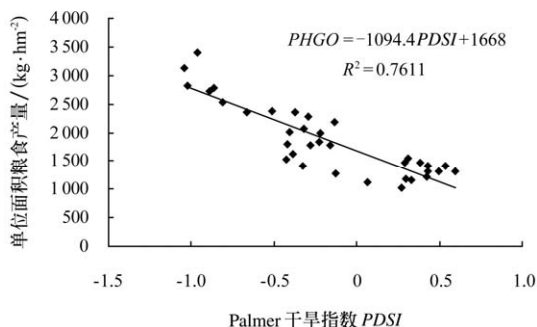


图 5 1949—1983 年单位面积粮食产量与 Palmer 干旱指数 ($PDSI$) 的相关关系分析

Fig.5 Correlation analysis of grain yield per unit area and $PDSI$ from 1949 to 1983

从图 6 中可以看出，1984 年以后，实际值 $PHGO$ 远远大于预测值 $PHGO$ ，最大误差出现于 1993 年，达到 1708 kg/hm^2 。综合分析，在 1984—2005 年时间阶段内，气候变化对中国粮食产量影响所占份额逐渐下降，即中国粮食生产应对气候变化能力逐渐加强，这主要是得益于技术进步、政策机制保障、农业生产投入大幅增加等人为因素方面原因。从图 6 可以得出，在 1984—2005 年 22 a 间，人为因素 (技术进步、政策机制、农业生产投入

等)作用对粮食单位面积产量平均增加值为 1170 kg/hm^2 ，1993 年达到最大值 1708 kg/hm^2 ，平均粮食单产增加率为 42.95% ，1993 年为最大值 70.48% ，增产效益十分显著。另一方面也反映出气候变化引起中国单位面积粮食减产量平均超过 1000 kg/hm^2 。表明通过技术创新、政策机制保障以及农业生产投入增加等人为因素作用，可在一定程度上缓解气候变暖对中国粮食生产所带来的负面影响。

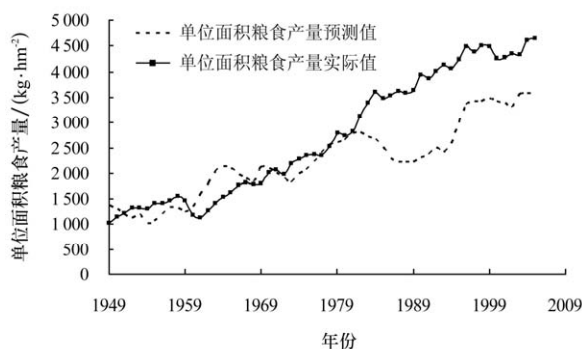


图 6 单位面积粮食产量实际值与预测值比较

Fig.6 Comparison between measured and predicted values of grain yield per unit area

从图 6 还可以看出，1995 年以后全国气候呈现干旱趋势背景下，以 $PDSI$ 为自变量所预测的 $PHGO$ 呈增加趋势，出现了气候干旱反而粮食产量增加的现象。分析其原因，这可能与中国主要粮食作物生产空间分布格局密切相关。据有关研究，过去 10 a 间气候变暖对中国主要产粮区——东北地区粮食增加有明显的促进作用，这主要可能与 CO_2 浓度和温度升高单一因子或二者共同作用所产生的光温潜力超过气候变暖对降水格局变化的影响而导致；对华北、西北和西南地区粮食总产量增加具有一定抑制作用，但抑制作用不明显；对华东和中南地区粮食产量影响不明显。从未来发展趋势分析，预计东北主产粮区粮食生产对增温还有适应的潜力^[16-18]。可以总结出，尽管近 10 a 来气候呈现干旱趋势，但由于全国粮食空间分布格局差异，出现了粮食主产区产量增加、部分地区产量下降且粮食增加大于下降的现象，导致了在干旱情况下预测粮食产量仍然增加的现象。

2.4 农田灌溉用水历年变化特征分析

水是农业生产的命脉，粮食生产水平提高，离开水参与将无从谈及，水对粮食生产水平提高具有不可替代的作用。中国自 20 世纪 50 年代就开始大力开发水资源，发展农田灌溉，已取得了巨大的成就。从图 7 和图 8 可以看出，全国农田有效灌溉面积已由 1949 年的 15531 km^2 增加到 2005 年的 56562 km^2 ，增加了 3.6 倍，有效灌溉面积已占中国总耕地面积的 46% ；农田灌溉用水量也已由 1949 年的 956 亿 m^3 持续增加到 1990 年的约 3880 亿 m^3 ，同时也达到最大值，之后农田灌溉用水量呈现逐渐减少趋势，2005 年达到 3222 亿 m^3 。和上述粮食生产一样，影响农田灌溉用水量因素仍主要是自然因素和人为因素，自然因素主要是气候因素，人为因素主要包括技术进步、政策机制、农田水利建设投入等因素。中国有效灌溉面积与农田灌溉用水量在 1990 年以

前增加趋势基本一致,表明此阶段有效灌溉面积的增加主要得益于农田灌溉用水量的增加;1990年以后,农田灌溉用水量呈现逐渐减小趋势,而灌溉面积仍呈现增加趋势,表明在此阶段有效灌溉面积的增加主要得益于单位面积灌溉定额的减小。从图9中可看出,单位面积灌溉定额变化基本与农田灌溉用水量变化趋势一致,1990年以前,单位面积灌溉定额呈持续增加趋势,已从1949年 $6\,155\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 增加到1990年左右 $8\,700\text{ m}^3/\text{hm}^2$,达到最大值,之后灌溉定额呈逐年减小趋势。

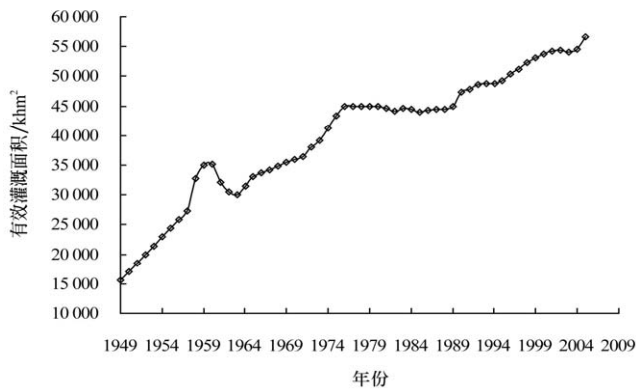


图7 中国有效灌溉面积变化趋势

Fig.7 Variation tendency of effective irrigation area in China

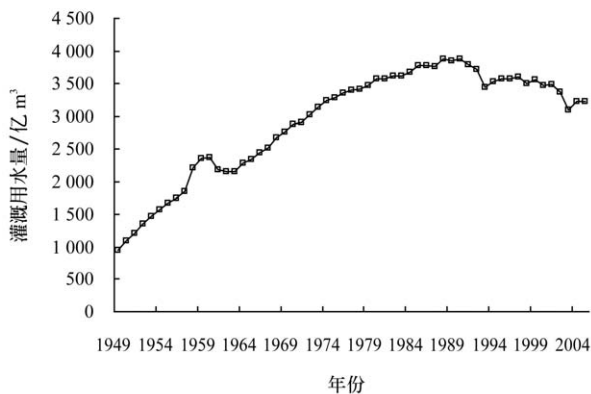


图8 中国农田灌溉用水量变化趋势

Fig.8 Variation tendency of irrigation water use in China

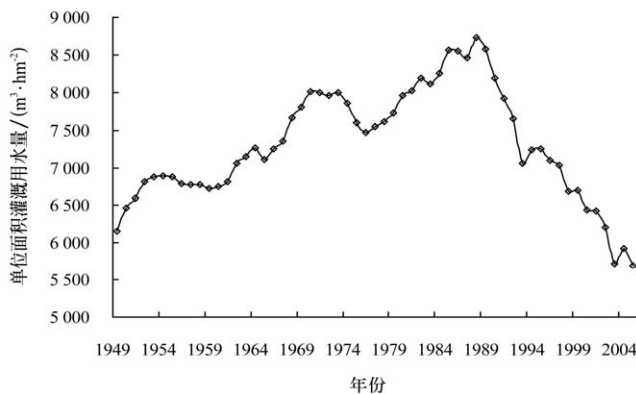


图9 中国单位面积灌溉用水量变化趋势

Fig.9 Variation tendency of irrigation quota per unit area in China

图7~9中有效灌溉面积、农田灌溉用水量和单位面积灌溉定额变化态势也与中国农业用水发展实际历程基

本吻合。1990年以前,农业用水主要为传统粗放灌溉方法,渠道也多是进行防渗技术处理的土质渠道,输水渗漏损失达50%~60%,有的高达70%,每年渗漏损失水量达1700多亿 m^3 ,几乎占到中国用水总量的 $1/3$ ^[19]。1980年以后,虽然中国政府开始有所重视节水农业技术的发展,但多处于小范围示范应用阶段,该阶段灌溉用水也与中国气候变化状况基本相似,由于缺少人为进步因素影响,气候变化起到重要作用,大量消耗农业水资源的外延方式仍在该阶段占主导地位。

随着水资源短缺危机日益加剧,尤其1990年后,随着中国水资源供需矛盾态势的进一步加剧,农田灌溉用水方式也由传统外延式(数量增长)向现代内涵式(质量提高)发展,传统土渠输水逐渐被防渗渠道和低压管道输水等先进技术所替代,田间喷微灌技术以及改进地面灌溉技术发展迅速,单位面积灌溉定额呈逐渐减小趋势,保证了在农田灌溉用水量减小前提下,有效灌溉面积呈现逐年增加趋势。到2005年为止,中国节水灌溉工程面积已达2133.8万 hm^2 ,占到全国有效灌溉面积的37%,在全部节水灌溉面积中,渠道防渗节灌面积913.3万 hm^2 ,低压管灌面积499.2万 hm^2 ,喷滴灌和微灌面积336.8万 hm^2 ,田间节水地面灌溉和集雨灌溉面积384.5万 hm^2 。先进节水灌溉技术投入大幅度增加,使中国农田灌溉用水量由1990年的3880亿 m^3 减少为2005年的3222亿 m^3 ,减少了658亿 m^3 ,而全国粮食产量由1990年的44624万t增加到2005年的48402万t,净增加3778万t,农业节水技术大力推广与应用已取得了显著的节水增产效益^[20-22]。

2.5 气候变化与灌溉用水相关关系分析

为定量研究气候变化对农田灌溉用水影响,根据气候变化特征,采用干旱指数(PDSI)与单位灌溉面积用水量(GIQ)进行相关分析发现,在1949—1990年,GIQ和PDSI的线性相关关系较好(见图10),基于这种相关关系建立了GIQ和PDSI之间的线性回归方程,具体如下

$$GIQ = -942.7PDSI + 7406$$

线性回归方程决定系数为0.7064,自变量为PDSI,即气候影响因素,其因变量为表示单位灌溉面积用水量GIQ。因此,可认为在1949—1990年,气候因素对中国农田灌溉用水影响具有主导作用,人为因素在此阶段所起作用相对较小,这也与中国农业用水发展实际历程基本吻合。同时,利用线性回归方程计算出1949—2005年预测的GIQ,并将其预测值和实际值列成图11。从图11可看出,1990年以后,实际值GIQ远远小于预测值GIQ,即以气候因素为自变量预测的单位面积灌溉用水量远远大于实际的灌溉用水量,其最大误差出现于2005年,达到 $2\,444\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。综合分析可以看出,在1991—2005年时间阶段内,气候变化对中国农田灌溉用水量的影响所占份额逐渐下降,即中国农业用水应对气候变化能力逐渐加强,这主要是得益于节水技术进步、政策机制保障以及农田水利建设投入大幅度增加等人为因素方面原因。将图11中单位面积灌溉用水量的预测值和图7中的全国有效灌溉面积相乘可得出,在1991—2005年15a年间,以1949—1990年水平为对照,人为因素作用(节水

技术进步、政策机制、农田水利建设投入等)所节约农田灌溉用水量年平均值为 1 394 亿 m^3 , 2005 年达到最大值 2 444 亿 m^3 ; 平均节水比率为 27.22%, 2005 年达到最大值为 43.13%, 效益显著; 从另一方面也可反映出, 气候变化引起中国农田灌溉用水增加量平均超过 1 000 亿 m^3 。表明通过节水农业技术创新、政策机制保障以及农田水利建设投入增加等人为因素作用可在一定程度上缓解气候变暖对中国农业用水带来的负面影响。

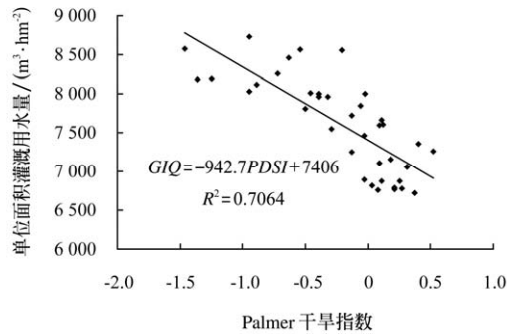


图 10 1949 - 1990 年单位面积灌溉定额与 PDSI 的相关关系分析

Fig.10 Correlation analysis of irrigation quota per unit area and PDSI from 1949 to 1990

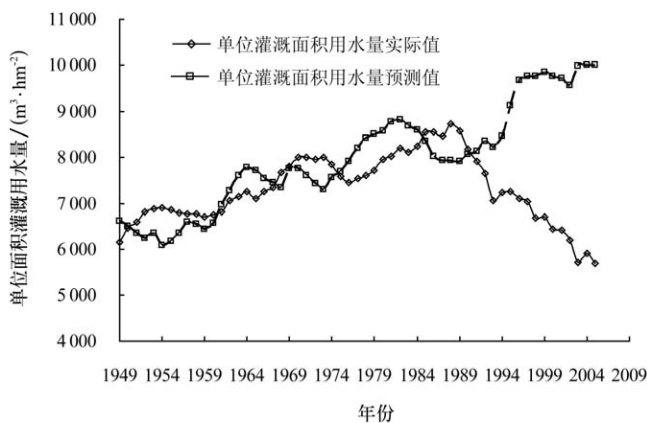


图 11 单位面积灌溉定额实际值与预测值比较

Fig.11 Comparison between measured and predicted values of irrigation quota per unit area

3 结论与讨论

1) 气候变化已成为影响中国农业用水和粮食生产的一个重要因素。采用 Palmer 干旱指数 (PDSI) 分析了 1949—2005 年中国气候变化特征, 表明 20 世纪 90 年代以前, 干旱趋势相对缓和, 90 年代以后, 干旱变化趋势进一步剧烈。由于气候变化引起中国农田灌溉用水增加量平均超过 1 000 亿 m^3 , 单位面积粮食减产量平均超过 1 000 kg/hm^2 。

2) 通过人为因素作用, 如技术进步、政策机制保障、生产投入增加等, 可在一定程度上缓解气候变化对中国农业用水和粮食生产带来的负面影响。20 世纪 80—90 年代以前, 气候变化对中国农业用水和粮食生产影响显著, 人为因素影响相对较少; 20 世纪 80—90 年代以后, 人为因素对中国农业用水和粮食生产的影响显著, 其应对气

候变化的能力逐渐加强。在干旱加剧条件下, 单位面积灌溉定额呈现持续减少, 而单位面积粮食产量呈现持续增加的态势。人为因素作用对中国农业用水平均节水比率已达 27%, 粮食单产增产率达到 40% 以上。

3) 根据中国粮食空间分布格局差异显著等实际背景, 建议以全国各个粮食主产区为研究单元, 加强气候变化对区域农业用水和粮食生产影响的研究, 进一步加大应对气候变化先进技术的研究和推广应用, 提高区域农业用水和粮食生产抵御气候变化的能力, 特别是抵御气候变化所带来的不利影响。

志谢: 美国犹他州立大学 (Utah State University, USA) 金继明教授在该论文部分数据处理过程中给予了无私帮助, 在此表示衷心的感谢。

[参 考 文 献]

- [1] 张建云, 王国庆, 刘九夫. 气候变化权威报告——IPCC 报告[J]. 中国水利, 2008, (2): 37—40.
Zhang Jianyun, Wang Guoqing, Liu Jiufu. Introduction of IPCC reports[J]. China Water Resources, 2008, (2): 37—40. (in Chinese with English abstract)
- [2] 秦大河, 罗勇, 陈振林. 气候变化科学的最新进展: IPCC 第四次评估综合报告解析[J]. 气候变化研究进展, 2007, 3(6): 311—314.
Qin Dahe, Luo Yong. Latest advances in climate change sciences: interpretation of the synthesis report of the IPCC fourth assessment report[J]. Advances in Climate Change Research, 2007, 3(6): 311—314. (in Chinese with English abstract)
- [3] 钟海玲, 沈永平. 2007 年全球气候变化回顾[J]. 气候变化研究进展, 2008, 4(1): 53—56.
Zhong Hailing, Shen Yongping. Review of global climate change in 2007[J]. Advance in Climate Change Research, 2008, 4(1): 53—56. (in Chinese with English abstract)
- [4] 丁一汇. 中国气候变化: 科学、影响、适应及对策研究[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2009.
- [5] Lin Erda, Xiong Wei, Ju H, et al. Climate change impacts on crop yield and quality with CO_2 fertilization in China[J]. Phil Trans R Soc B, 2005, 360(1463): 2149—2154.
- [6] 刘春蓁. 中国水资源响应全球气候变化的对策建议[J]. 中国水利, 2000, (2): 36—38.
Liu Chunzhen. Suggestion on water resources in China corresponding with global climate change[J]. China Water Resources, 2000, (2): 36—38. (in Chinese with English abstract)
- [7] 邓慧平, 唐来华. 沱江流域水文对全球气候变化的响应[J]. 地理学报, 1998, 53(1): 42—48.
Deng Huiping, Tang Laihua. Impacts of climatic changes on hydrologic balance in tuojiang basin, Sichuan province, China[J]. Acta Geographica Sinica. 1998, 53 (1): 42—48. (in Chinese with English abstract)
- [8] 王媛, 方修琦, 徐铤. 气候变化背景下“气候产量”计算方法的探讨[J]. 自然资源学报, 2004, 19(4): 531—536.
Wang Yuan, Fang Xiuqi, Xu Tan. A method for calculating the climatic yield of grain under climate change[J]. Journal of Natural Resources, 2004, 19(4): 531—536. (in Chinese with English abstract)
- [9] 高永刚, 顾红, 姬菊枝. 近 43 年来黑龙江气候变化对农

- 作物产量影响的模拟研究[J]. 应用气候学报, 2007, 18(4): 532—538.
- Gao Yonggang, Gu Hong, Ji Jvzhi. Simulation study of climate change impact on crop yield in Heilongjiang province from 1961 to 2003[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2007, 18(4): 532—538. (in Chinese with English abstract)
- [10] Dai A, Trenberth K E, Qian T. A global data set of palmer drought severity index for 1870-2002: relationship with soil moisture and effects of surface warming[J]. J Hydrometeorology, 2004, 3(5): 1117—1130.
- [11] 卫捷, 马柱国. Palmer 干旱指数、地表湿润指数与降水距平的比较[J]. 地理学报, 2003, 58(S1): 117—124.
- Wei Jie, Ma Zhuguo. Comparison of palmer drought severity index, percentage of precipitation anomaly and surface humid index[J]. Acta Geographica Sinica, 2003, 58(S1): 117—124. (in Chinese with English abstract)
- [12] 国家统计局农村社会经济调查司. 中国农业统计年鉴 2006[M]. 北京: 中国统计出版社, 2007.
- [13] 国家统计局国民经济综合统计司. 新中国五十五年统计资料汇编[G]. 北京: 中国统计出版社, 2006.
- [14] 中华人民共和国水利部编. 中国水资源公报 2007[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008.
- [15] 殷培红, 方修琦, 马玉玲. 21 世纪初我国粮食供需的新空间格局[J]. 自然资源学报, 2006, 21(4): 625—631.
- Yin Peihong, Fang Xiuqi, Ma Yuling. New regional pattern of grain supply-demand in China in the early 21st century[J]. Journal of Natural Resources, 2006, 21(4): 625—631. (in Chinese with English abstract)
- [16] 殷培红, 方修琦, 马玉玲. 21 世纪初中国粮食短缺地区的空间格局与区域差异[J]. 地理科学, 2007, 27(4): 463—472.
- Yin Peihong, Fang Xiuqi, Ma Yuling. Distribution and regional difference of food shortage in China in 21st century[J]. Scientia Geographica Sinica, 2007, 27(4): 463—472. (in Chinese with English abstract)
- [17] 马鹏里, 杨兴国, 陈瑞生. 农作物需水量随气候变化的响应研究[J]. 西北植物学报, 2006, 26(2): 0348—0353.
- Ma Pengli, Yang Xingguo, Chen Ruisheng. Responses of crop water requirements to climatic changes[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2006, 26(2): 0348—0353. (in Chinese with English abstract)
- [18] 肖国举, 张强, 王静. 全球气候变化对农业生态系统的影响研究进展[J]. 应用生态学报, 2007, 18(8): 1877—1885.
- Xiao Guoju, Zhang Qiang, Wang Jing. Impact of global climate change on agro-ecosystem: A review[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(8): 1877—1885. (in Chinese with English abstract)
- [19] 吴普特, 冯浩, 牛文全. 现代节水农业技术发展趋势与未来研发重点[J]. 中国工程科学, 2007, 9(2): 12—18.
- Wu Pute, Feng Hao, Niu Wenquan. Technical trend and R&D focus of modern water-saving agriculture[J]. Engineering Science, 2007, 9(2): 12—18. (in Chinese with English abstract)
- [20] 许迪, 龚时宏. 大型灌区节水改造技术支撑体系及研究重点[J]. 水利学报, 2007, 38(7): 806—811.
- Xu Di, Gong Shihong. Technical supporting system for water saving orientated rehabilitation of large irrigation districts[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2007, 38(7): 806—811. (in Chinese with English abstract)
- [21] 吴普特, 冯浩. 中国节水农业发展战略初探[J]. 农业工程学报, 2005, 21(6): 152—157.
- Wu Pute, Feng Hao. Development and application on GSM-based monitoring system for digital agriculture[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2005, 21(6): 152—157. (in Chinese with English abstract)
- [22] 水利部水利水电规划设计总院. 中国抗旱战略研究[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008.

Impact of climate change on agricultural water use and grain production in China

Wu Pute, Zhao Xining

(National Engineering Research Center for Water Saving Irrigation at Yangling, Institute of Soil and Water Conservation of Chinese Academy of Sciences, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, China)

Abstract: Global climate warming is an indisputable objective fact, and it inevitably impacts agricultural water use and grain security production in China. In this paper, the Palmer drought severity index (*PDSI*), the gross irrigation quota (*GIQ*) and the per-hectare grain output (*PHGO*) were used as specific indexes of climate change, agricultural water use and grain production to analyze inter-annual variation characteristics and correlation between *PDSI*, *GIQ*, *PHGO* in China from 1949 to 2005, and a good linear correlation between *PHGO* during 1949-1983 and *PDSI* as well as *GIQ* during 1949-1990 was found, which indicated that climate change significantly affected agricultural water use and grain production, while human factors (technological progress, policies mechanisms, production inputs, etc.) affected relatively small at above-mentioned stage. According to the correlation, the *GIQ* and *PHGO* during 1949-2005 were predicted. It was found that predicted values and actual ones of the *GIQ* during 1949-1990 and the *PHGO* during 1949-1983 had poor relationships, which indicated that human factors (technological progress, policies mechanisms, production inputs, etc.) gradually became the leading position, and their average impact rate on agricultural water-saving and grain yield reached over 27% and 40%, respectively. The negative impact of climate change on agricultural water use and grain production can be mitigated to some extent by controlling the human factors as technological innovation, policy mechanisms protection as well as production inputs increment.

Key words: climate change, agriculture, water, grain production