

气候变暖对甘肃省不同气候类型区主要作物需水量的影响*

王鹤龄^{1,2} 王润元¹ 张强¹ 牛俊义^{2**} 吕晓东³

(1. 中国气象局兰州干旱气象研究所 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室 中国气象局干旱气候变化重点开放实验室 兰州 730020; 2. 甘肃农业大学农学院 兰州 730070; 3. 甘肃省农业科学院土壤肥料与节水农业研究所 兰州 730070)

摘要 作物需水量是农田水分循环系统中最重要的因素之一。在未来温度上升 1~4 °C 的情景下, 研究了气候变暖对我国甘肃省不同气候类型区主要作物需水量的影响。结果表明, 气候变暖对不同作物需水量的影响程度不同。其中对冬小麦需水量的影响最大, 对玉米和春小麦次之。当生长期温度上升 1~4 °C 时, 冬小麦需水量将增加 3.05%~12.90%, 相当于 13.2~81.2 mm; 玉米需水量将增加 2.49%~10.80%, 相当于 9.9~60.6 mm; 春小麦需水量将增加 2.74%~11.69%, 相当于 6.7~40.0 mm。气候变暖对作物需水量的影响存在一定地域性差异。对干旱区的作物需水量影响最大, 半干旱区次之, 其次是半湿润区, 对湿润区影响不大。根据甘肃省目前的种植结构, 据此估算, 当温度上升 1~4 °C 时, 将使甘肃省冬小麦的灌溉需水量增加 $12.43 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $13.02 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $13.74 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $14.65 \times 10^8 \text{ m}^3$, 玉米的灌溉需水量增加 $7.94 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $8.32 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $8.78 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $9.30 \times 10^8 \text{ m}^3$, 春小麦的灌溉需水量增加 $4.97 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $5.16 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $5.42 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $5.76 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

关键词 气候变暖 温度 作物需水量 气候区 甘肃省

中图分类号: F062 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3990(2011)04-0866-06

Impact of warming climate on crop water requirement in Gansu Province

WANG He-Ling^{1,2}, WANG Run-Yuan¹, ZHANG Qiang¹, NIU Jun-Yi², LU Xiao-Dong³

(1. Key Laboratory of Arid Climate Change and Disaster Control in Gansu Province; Key Open Laboratory of Arid Climatic Change and Disaster Control of China Meteorological Administration; Institute of Arid Meteorology, China Meteorological Administration, Lanzhou 730020, China; 2. College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 3. Institute of Soil, Fertilizer and Water-saving Agriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China)

Abstract Global warming is an increasingly worrisome environmental and climatic phenomenon. Global average temperature increased by 0.60~0.70 °C over the last century, with an average temperature rise of 0.80~1.50 °C in China. Northwest China is one of the most sensitive areas to climate change. Temperature (a critical factor of global warming) is often used in an integrated method to calculate crop water demand. In other words, temperature affects climate change, which in turn affects crop water needs. Crop water requirements in Northwest China is therefore critical in farm water cycle. It is also an important hydraulic and water-saving parameter in agricultural research, planning and design. This study addressed issues such as: the effect of climate change on agricultural water demand in different regions, and current lack of systematic and quantitative data to support crop water requirement research in the face of global warming. This study analyzed the effects of warming climate on crop water requirement in Gansu Province under different temperature scenarios (future temperature increases of 1~4 °C). The results showed that the effects of warming climate on crop water requirement were different for different crops. Warming climate greatly affected water requirement of winter wheat, followed by spring wheat and maize. When future temperatures rose by 1~4 °C, water requirement of winter wheat increased by 3.05%~12.90%, which was the equivalent of 13.2~81.2 mm. That of maize increased by 2.49%~10.80%, the equivalent of 9.9~60.6 mm. Then spring wheat water requirement increased by 2.74%~11.69%, the equivalent of 6.7~40.0 mm. Regional differences were noted in the impact of warming climate on crop water requirement. The impact of warming climate on crop water

* 国家科技部气象行业专项(GYHY200806021, GYHY201106029)和甘肃省自然科学基金项目(3ZS061-A25-010)资助

** 通讯作者: 牛俊义(1957-), 男, 博士, 教授, 主要研究方向为作物生理生态。E-mail: niujy@gsau.edu.cn

王鹤龄(1978-), 男, 博士研究生, 助理研究员, 主要从事农业生态与应用气象研究。E-mail: wangheling1978@126.com.cn

收稿日期: 2010-11-25 接受日期: 2011-03-03

requirement was highest for arid regions, followed by semi-arid regions, and then semi-humid regions. The least effect was for humid regions. When future temperatures rose by 1~4 °C, the temperature scenario caused additional irrigation water requirement of 1 243, 1 302, 1 374 and 1 465 million m³ for winter wheat; 794, 832, 878 and 930 million m³ for maize; and 497, 516, 542 and 576 million m³ for spring wheat, respectively. Warming climate worsened water shortage problems in the study area.

Key words Warming climate, Temperature, Crop water requirement, Climate zone, Gansu Province

(Received Nov. 25, 2010; accepted Mar. 3, 2011)

全球变暖已成为不争的事实。过去 100 年来, 全球平均温度已升高 0.60~0.70 °C, 我国地面平均温度上升 0.80~1.50 °C^[1]。西北地区是中国气候变暖最敏感的地区之一, 据统计, 西北地区年平均气温 1987~2003 年比 1961~1986 年升高 0.70 °C, 冬季气温升高幅度最大, 为 1.37 °C, 春、夏、秋季分别升高 0.33 °C、0.40 °C 及 0.73 °C, ≥0 °C 积温平均增加 112 °C, ≥10 °C 积温平均增加 107 °C, <0 °C 负积温的绝对值平均减少 137 °C^[2-4]。根据部分研究预测, 到 21 世纪末我国西部气温增幅为 1.5~3.9 °C^[1,5]。气候变暖有可能使我国 21 世纪面临更严重的水资源危机^[6]。

作物需水量是农田水分循环系统中最重要的因素之一, 它是水利工程规划设计及节水农业研究中非常重要的参数。作物需水量可由实测土壤水分通过水量平衡法计算得到, 也可由综合的气候学方法计算得到。由于土壤水分的不易获得性及其空间变异性, 综合的气候学方法得到广泛应用^[5,7-9]。但气候变化对我国不同地区的农业需水将产生怎样影响, 目前缺乏系统与定量的数据支持。为此, 本文以甘肃省为研究对象, 通过假定不同的温度情景, 研究气候变暖对本区主要作物需水量的影响, 为尽早建立预报、预警系统, 缓解水资源供需矛盾, 制定防灾、减灾提供决策依据。

1 研究区域概况与研究方法

甘肃省地处黄土高原、内蒙古高原和青藏高原的交汇地带, 地势自西南向东北倾斜, 境内平均海拔高度 1 400 m 以上, 相对高差 200~1 500 m。李栋梁等^[10]根据气候区划指标和地理特征, 将甘肃省分为 8 个气候区。甘肃省内气候比较复杂, 干旱、半干旱、半湿润、湿润区的气候类型均有分布。因此,

利用甘肃省的气象资料和作物生育期观测资料, 分析农作物需水量在不同气候类型区的变化特点具有可代表性。甘肃热量充足, 适宜多种粮食及经济作物生长, 播种面积最大的 3 种作物为春小麦、春玉米和冬小麦。在甘肃省不同气候类型区选取 4 个有代表性的气象站点, 其中张掖站代表干旱区, 定西站代表半干旱区, 天水站代表半湿润区, 成县站代表湿润区, 研究了气候变暖对春小麦、春玉米和冬小麦 3 大作物需水量的影响。根据联合国粮农组织推荐的公式^[8], 在土壤水分不成为限制因素的条件下, 作物需水量计算公式为:

$$ET_m = K_s \cdot K_c \cdot ET_0 \quad (1)$$

$$K_s = (\theta - \theta_{wp}) / (\theta_f - \theta_{wp}) \quad (2)$$

式中, ET_m 为作物需水量, K_s 为土壤水分修正系数, K_c 为作物系数, θ 为计划湿润层内的平均土壤含水量, θ_f 为田间持水量, θ_{wp} 为凋萎系数, ET_0 为参考作物蒸散量, 按下式计算。

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 VPD}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (3)$$

式中, ET_0 为参考作物需水量(mm·d⁻¹), R_n 为作物表面净辐射(MJ·m⁻²·d⁻¹), G 为土壤热通量(MJ·m⁻²·d⁻¹), T 为 2 m 高度处平均气温(°C), U_2 为 2 m 高度处 24 h 平均风速(m·s⁻¹), VPD 为 2 m 高度处气压差(kPa), Δ 为饱和水汽压斜率(kPa·°C⁻¹), γ 为干湿球常数(kPa·°C⁻¹)。

为保证作物正常生长, 又不造成水分浪费, 土壤含水量应控制在适宜范围内, 一般情况下, 土壤含水量小于田间持水量 40% 时作物枯死, 40%~60% 呈干旱现象, 60%~80% 适于作物生长, 大于 80% 呈涝迹现象甚至渍死。表 1 为不同土壤质地的基本参数和 3 种作物的适宜土壤含水率范围^[11-12], 张掖为沙壤土, 定西、天水 and 成县为中壤土。

表 1 不同土壤质地的基本参数

Table 1 Basic parameters of different soil texture

土壤质地 Soil texture	重量含水量 Soil water content (%)		容重 Bulk density (g·cm ⁻³)	孔隙度 Porosity (%)
	田间持水量 Field capacity (θ_f)	凋萎系数 Wilting coefficient (θ_{wp})		
沙壤土 Sandy loam	14.0	5.0	1.39	48.8
中壤土 Medium loam	20.0	8.0	1.29	52.5
重壤土 Heavy loam	20.2	9.5	1.37	49.8

表 2 3 种作物的土壤适宜含水率和上、下限含水率(占田间持水量%)

Table 2 Suitable soil water content and upper and lower limits of soil water content for three crops (by field capacity %)

阶段 Stage	冬小麦 Winter wheat		春小麦 Spring wheat		玉米 Maize	
	适宜含水率 Appropriate water content	下限含水率 Lower water content	适宜含水率 Appropriate water content	下限含水率 Lower water content	适宜含水率 Appropriate water content	下限含水率 Lower water content
初期阶段 Early stage	70	65	70	65	70	60
发育阶段 Developmental stage	75	65	75	65	75	65
后期阶段 Late stage	70	65	70	65	65	55

含水率上限为田间持水量 Upper limit of water content is field capacity.

对于不同作物可以根据其需水规律划分为相应的 3 个生长阶段, 春小麦、冬小麦和玉米为播种-出苗、出苗-乳熟、乳熟-成熟, 即初期阶段、发育阶段和后期阶段。不同作物不同生长阶段的需水量特征见表 2。表 3 为 FAO 确定的不同作物不同生长阶段的 K_c 值。

表 3 不同作物不同生育阶段作物系数(K_c)取值
Table 3 Crop index (K_c) values of crops in different development periods

作物名称 Crop	初期阶段 Early stage ($K_{c_{ini}}$)	发育阶段 Developmental stage ($K_{c_{mid}}$)	后期阶段 Late stage ($K_{c_{late}}$)	作物最大高度 Maximum height of crops (m)
春小麦 Spring wheat	0.3	1.15	0.25	1.0
冬小麦 Winter wheat	0.3	1.15	0.25	1.0
玉米 Maize	0.3	1.15	0.60	2.2

由式(1)可知, 参考作物蒸散量是影响作物需水量的关键因子, 而在诸多气象因素中, 温度是最为重要的因素。因此, 气候变暖将通过温度的变化影响作物对水分的需求。气候变化情景的获得, 除可以通过运行大气环流模式(GCM)外, 简单的方法是使用一些假定的气候要素变化, 例如温度升高 1°C 或降水量减少 10% 等。本文采用第 2 种方法, 即假定温度变化情景。据预测, 未来由于温室效应增强而导致的变暖, 温度可能升高 $1.5\sim 4.5^\circ\text{C}$ 。另据英国 Hadley 模型的预测, 在温室气体排放年递增 1% 的情景下, 到 21 世纪末我国西北地区各月平均气温将上升 $1.5\sim 3.9^\circ\text{C}$ ^[5,7], 故本文假定未来温度情景为上升 $1\sim 4^\circ\text{C}$ 。根据各气象站历年逐月的平均气象数据, 在 3 种作物生长期温度分别增加 $1\sim 4^\circ\text{C}$, 而其他气象要素保持不变的情景下, 逐年计算 3 种作物的需水量, 最后取多年平均值作为气候变化的影响结果。

2 结果与分析

2.1 不同作物需水量对气候变暖的响应差异

图 1 为 3 种作物在生长期温度分别增加 $1\sim 4^\circ\text{C}$ 时, 需水量相应增加的百分数。4 个站点的结果一致表明, 随温度上升, 3 种作物的需水量随之增加。其

中气候变暖对冬小麦需水量的影响最大, 春小麦次之, 对玉米需水量的影响相对较小。

在给定温度情景下, 甘肃省张掖、定西、天水 and 成县 4 个站点冬小麦的需水量将依次增加 $3.25\%\sim 12.84\%$ 、 $3.46\%\sim 12.90\%$ 、 $3.17\%\sim 11.85\%$ 和 $3.05\%\sim 11.54\%$, 春小麦需水量将依次增加 $3.11\%\sim 11.33\%$ 、 $3.10\%\sim 11.69\%$ 、 $2.80\%\sim 10.37\%$ 和 $2.74\%\sim 10.25\%$, 玉米需水量将依次增加 $2.80\%\sim 10.27\%$ 、 $2.91\%\sim 10.80\%$ 、 $2.55\%\sim 9.57\%$ 和 $2.49\%\sim 9.45\%$ 。将所有站点的结果综合来看, 当温度上升 $1\sim 4^\circ\text{C}$ 时, 黄土高原干旱区、半干旱区、半湿润区和湿润区冬小麦、春小麦和玉米的需水量将分别增加 $3.05\%\sim 12.90\%$ 、 $2.74\%\sim 11.69\%$ 和 $2.49\%\sim 10.80\%$ 。

由于冬小麦、玉米和春小麦 3 种作物有各自的生长发育特点, 故其需水特性有很大差异。仅从需水增加的百分数只能了解气候变暖影响的一个侧面。例如, 对于不同作物, 在需水增加百分数相同的情况下, 对应的绝对需水增加量会不同, 故有必要从绝对增加量上进一步分析气候变化的影响。图 2 是给定温度情景下 3 种作物需水量绝对数量的变化情况。图 2 表明气候变暖对冬小麦需水量的影响最大, 对玉米需水量的影响次之, 对春小麦需水量的影响最小。当温度上升 1°C 时, 冬小麦、玉米、春小麦需水量将增加 $13.2\sim 22.7\text{ mm}$ 、 $9.9\sim 16.6\text{ mm}$ 、 $6.7\sim 11.0\text{ mm}$; 当温度上升 2°C 时, 3 种作物的需水量依次增加 $23.1\sim 38.0\text{ mm}$ 、 $17.7\sim 29.0\text{ mm}$ 、 $11.4\sim 18.8\text{ mm}$; 当温度上升 3°C 时, 3 种作物的需水量依次增加 $34.8\sim 56.8\text{ mm}$ 、 $27.0\sim 44.0\text{ mm}$ 、 $17.6\sim 29.0\text{ mm}$; 当温度上升 4°C 时, 3 种作物的需水量依次增加 $50.2\sim 81.2\text{ mm}$ 、 $38.0\sim 60.6\text{ mm}$ 、 $25.0\sim 40.0\text{ mm}$ 。

2.2 不同作物需水量对气候变暖响应的区域差异

根据图 2, 在给定温度情景下, 张掖冬小麦、玉米和春小麦的灌溉需水量将分别增加 $20.7\sim 81.2\text{ mm}$ 、 $16.7\sim 60.6\text{ mm}$ 和 $11.0\sim 40.0\text{ mm}$, 定西相应 3 种作物的需水量将分别增加 $18.1\sim 67.3\text{ mm}$ 、 $13.7\sim 50.6\text{ mm}$ 和 $8.9\sim 33.0\text{ mm}$, 天水相应 3 种作物的需水量将分别增加 $15.4\sim 57.3\text{ mm}$ 、 $11.3\sim 42.0\text{ mm}$ 和 $7.4\sim 27.4\text{ mm}$, 成县相应 3 种作物的需水量将分别增加 $13.2\sim 50.2\text{ mm}$ 、 $9.9\sim 38.0\text{ mm}$ 和 $6.7\sim 25.0\text{ mm}$ 。可见, 不同地区同一种作物对气候变暖的响应存在差异。

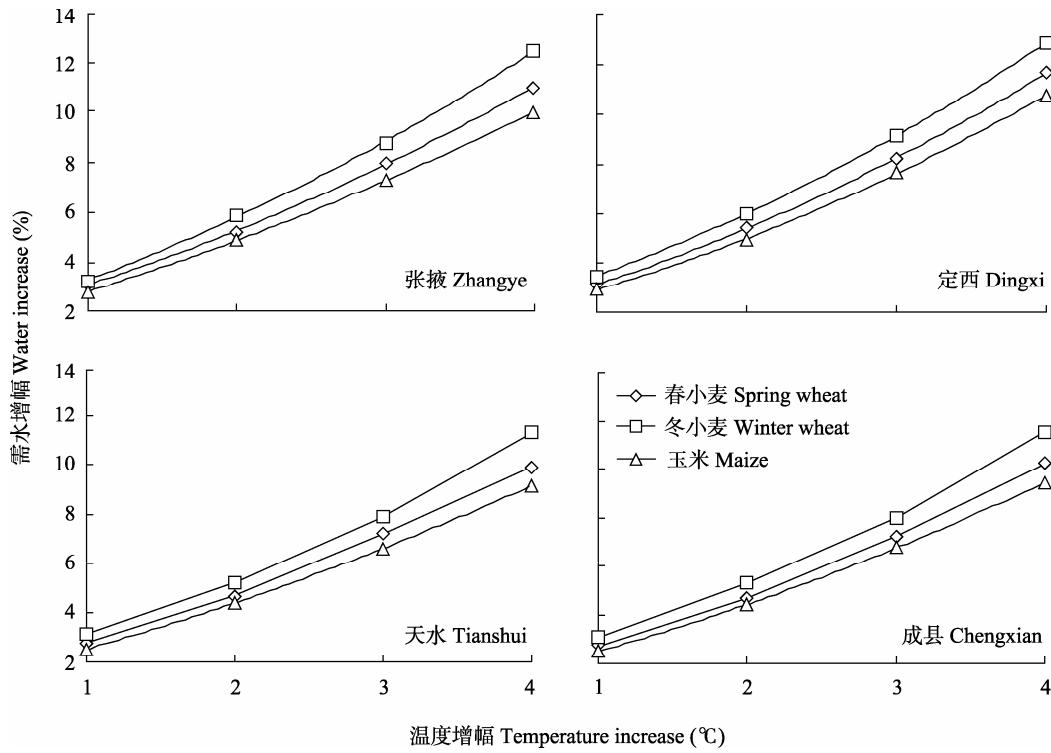


图1 给定温度情景对张掖(干旱区)、定西(半干旱区)、天水(半湿润区)和成县(湿润区)作物需水量的影响
 Fig. 1 Impacts of given temperature scenario on water requirement of different crops in Zhangye (arid area), Dingxi (semi-arid area), Tianshui (semi-humid area) and Chengxian (humid area)

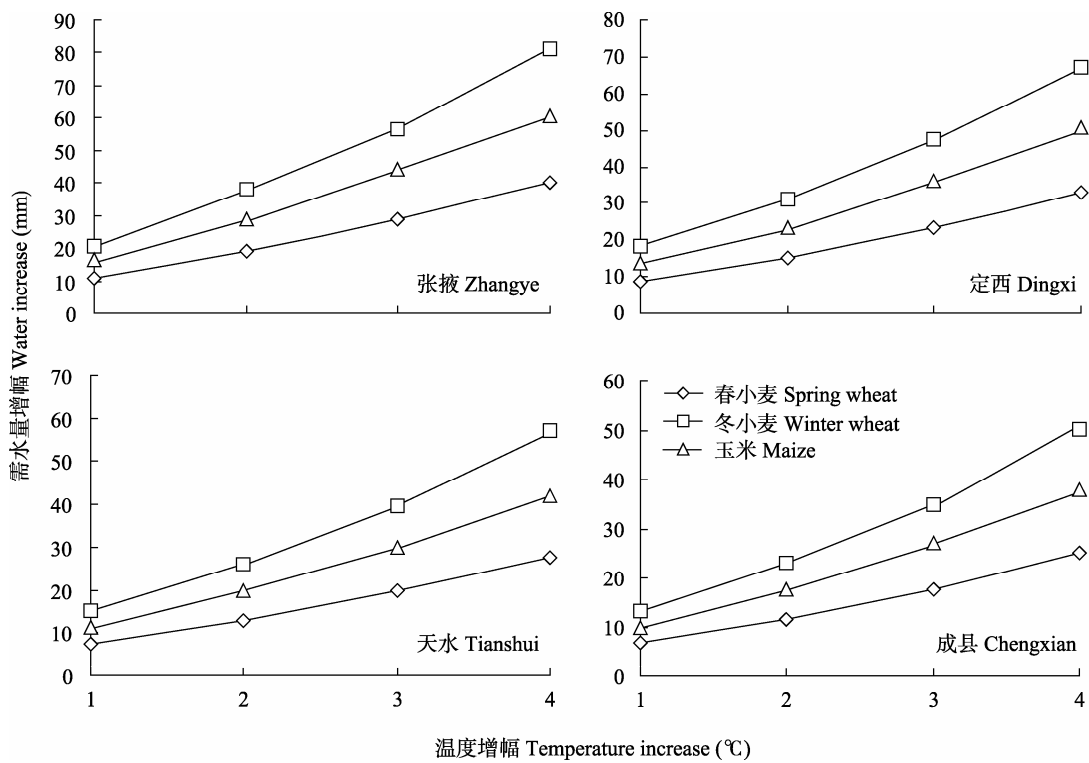


图2 给定温度情景对张掖(干旱区)、定西(半干旱区)、天水(半湿润区)和成县(湿润区)作物需水量绝对值的影响
 Fig. 2 Impacts of given temperature scenario on amount of water required by different crops in Zhangye (arid area), Dingxi (semi-arid area), Tianshui (semi-humid area) and Chengxian (humid area)

不论冬小麦、玉米还是春小麦, 不同区域的作物需水量随着温度的增加出现显著差异, 以气候变

化对张掖的作物需水量影响最大。当温度增加 1 °C 时, 冬小麦、玉米和春小麦的需水量将依次增加 20.7

mm、16.6 mm 和 11.0mm; 当温度增加 2 °C 时, 3 种作物需水量分别为 38.0 mm、29.0 mm 和 18.8 mm; 当温度增加 3 °C 时, 3 种作物需水量将依次增加 56.8 mm、44.0 mm 和 28.8 mm; 当温度增加 4 °C 时, 3 种作物的需水量将依次增加 81.2 mm、60.6 mm 和 40.0 mm。以气候变化对成县的作物需水量影响最小, 当温度增加 1 °C 时, 冬小麦、玉米、春小麦需水量将依次增加 13.2 mm、9.9 mm 和 6.7 mm; 当温度增加 2 °C 时, 3 种作物需水量依次增加 23.1 mm、17.7 mm 和 11.4 mm; 当温度增加 3 °C 时, 3 种作物需水量依次增加 34.8 mm、27.0 mm 和 17.6 mm; 当温度增加 4 °C 时, 3 种作物需水量依次增加 50.2 mm、38.0 mm 和 25.0 mm。

2.3 气候变暖对不同作物灌溉需水量的影响

目前, 西北地区作物生长所需水分主要来自天然降水和灌溉补充。因此, 灌溉需水量可以认为是作物需水量与天然降水之差, 即:

$$IR = ET_m - P \quad (4)$$

式中, IR 为灌溉需水量(mm), ET_m 为作物需水量, P 为降水量(mm)。根据近 50 年的气象资料, 各站主要作物生长期多年平均降雨量见表 4。

根据公式(4), 计算出各站点净灌溉需水量(表 5)。气候变暖仍然对冬小麦的灌溉需水量影响最大。气候变暖下, 张掖冬小麦的灌溉需水量将由目前 570.7 mm 上升到 591.3~651.9 mm, 定西将由目前的

表4 各站主要作物生长期多年平均降雨
Table 4 Average rainfall during crop growth period in different areas mm

地区 Area	春小麦 Spring wheat	冬小麦 Winter wheat	玉米 Maize
张掖 Zhangye (干旱区 Arid area)	54.8	62.5	108.5
定西 Dingxi (半干旱区 Semi-arid area)	171.6	205.1	324.9
天水 Tianshui (半湿润区 Semi-humid area)	217.3	288.9	401.9
成县 Chengxian (湿润区 Humid area)	257.4	332.4	495.1

316.2 mm 上升到 334.3~383.5 mm, 天水将由目前 194.0 mm 上升到 209.4~251.3 mm, 成县将由目前的 104.1 mm 上升到 117.3~154.3 mm; 对玉米来说, 张掖将由目前的 480.7 mm 上升到 497.3~541.3 mm, 定西将由目前的 146.0 mm 上升到 159.7~196.6 mm; 对春小麦来说, 张掖将由目前的 298.0 mm 上升到 309.0~338.0 mm, 定西将由目前的 111.1 mm 上升到 119.9~144.1 mm。气候变暖使各地冬小麦的缺水形势进一步加剧。

由于半湿润区和湿润区春小麦和玉米生长与雨季同步, 气候变暖对两种作物灌溉需水量的影响相对较小。其中对成县地区春玉米灌溉需水量的影响最小, 即使在未来温度增加 4 °C 的情况下, 也不缺水。说明湿润地区春小麦和玉米抵御未来气候变暖不利影响的能力较强。

表5 气候变暖对甘肃省不同地区主要作物灌溉需水量的影响
Table 5 Effects of climate warming on irrigation amount of the main crops in different areas of Gansu Province mm

作物 Crop	温度增幅 Temperature increase (°C)	地区 Area			
		张掖 Zhangye (干旱区 Arid area)	定西 Dingxi (半干旱区 Semi-arid area)	天水 Tianshui (半湿润区 Semi-humid area)	成县 Chengxian (湿润区 Humid area)
春小麦 Spring wheat	0	298.0	111.1	47.9	-13.9
	1	309.0	119.9	55.3	-7.2
	2	316.8	126.3	60.6	-2.5
	3	326.8	134.2	67.8	3.6
	4	338.0	144.1	75.4	11.1
冬小麦 Winter wheat	0	570.7	316.2	194.0	104.1
	1	591.3	334.3	209.4	117.3
	2	608.7	347.5	220.0	127.2
	3	627.5	363.8	233.7	138.9
	4	651.9	383.5	251.3	154.3
玉米 Maize	0	480.7	146.0	36.5	-90.8
	1	497.3	159.7	47.8	-80.9
	2	509.7	169.1	56.4	-73.2
	3	524.7	182.0	66.6	-63.8
	4	541.3	196.6	78.5	-52.8

表6 气候变暖对甘肃省主要作物新增灌溉量的影响
Table 6 Effects of climate warming on increase irrigation amount of the main crops in Gansu Province $\times 10^8 \text{ m}^3$

温度增幅 Temperature increase ()	作物 Crop	新增灌溉需水量 Increased irrigation amount				
		干旱区 Arid area	半干旱区 Semi-arid area	半湿润区 Semi-humid area	湿润区 Wet area	合计 Total
1	春小麦 Spring wheat	2.96	1.62	0.39	—	4.97
	冬小麦 Winter wheat	1.77	4.46	5.03	1.17	12.43
	玉米 Maize	5.18	2.12	0.64	—	7.94
2	春小麦 Spring wheat	3.04	1.70	0.42	—	5.16
	冬小麦 Winter wheat	1.83	4.64	5.28	1.27	13.02
	玉米 Maize	5.31	2.25	0.76	—	8.32
3	春小麦 Spring wheat	3.13	1.81	0.47	0.01	5.42
	冬小麦 Winter wheat	1.89	4.85	5.61	1.39	13.74
	玉米 Maize	5.46	2.42	0.90	—	8.78
4	春小麦 Spring wheat	3.24	1.94	0.53	0.05	5.76
	冬小麦 Winter wheat	1.96	5.12	6.03	1.54	14.65
	玉米 Maize	5.63	2.61	1.06	—	9.30

根据甘肃省目前的种植结构, 冬小麦、玉米和春小麦的播种面积依次为 50 万公顷、48 万公顷和 34 万公顷。据此估算, 当温度上升 1~4 °C 时, 将使甘肃省冬小麦的灌溉需水量增加 $12.43 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $13.02 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $13.74 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $14.65 \times 10^8 \text{ m}^3$, 玉米的灌溉需水量增加 $7.94 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $8.32 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $8.78 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $9.30 \times 10^8 \text{ m}^3$, 春小麦的灌溉需水量增加 $4.97 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $5.16 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $5.42 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $5.76 \times 10^8 \text{ m}^3$ (表 6)。

3 结论

在假设未来温度上升 1~4 °C 的情景下, 研究了气候变暖对甘肃省不同气候类型区主要农作物需水量和灌溉需水量的影响。结果表明, 不同作物的需水量对气候变暖的响应存在差异。其中对冬小麦影响较大, 春玉米次之, 春小麦最小。

当温度上升 1 °C 时, 冬小麦、玉米、春小麦需水量将增加 13.2~20.7 mm、9.9~16.6 mm、6.7~11.0 mm; 当温度上升 2 °C 时, 3 种作物的需水量依次增加 23.1~38.0 mm、17.7~29.0 mm、11.4~18.8 mm; 当温度上升 3 °C 时, 3 种作物的需水量依次增加 34.8~56.8 mm、27.0~44.0 mm、17.6~28.8 mm; 当温度上升 4 °C 时, 3 种作物的需水量依次增加 50.2~81.2 mm、38.0~60.6 mm、25.0~40.0 mm。

在给定温度情景下, 张掖冬小麦、玉米和春小麦的灌溉需水量将分别增加 20.7~81.2 mm、16.7~60.6 mm 和 11.0~40.0 mm, 定西相应 3 种作物的灌溉需水量将分别增加 18.1~67.3 mm、13.7~50.6 mm 和 8.9~33.0 mm, 天水相应 3 种作物的灌溉需水量将分别增加 15.4~57.3 mm、11.3~42.0 mm 和 7.4~27.4 mm, 成县相应 3 种作物的灌溉需水量将分别增加 13.2~50.2 mm、9.9~38.0 mm 和 6.7~25.0 mm。可见,

不同地区同一种作物对气候变暖的响应存在差异。

根据甘肃省目前的种植结构, 当温度上升 1~4 °C 时, 将使甘肃省冬小麦的灌溉需水量增加 $12.43 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $13.02 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $13.74 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $14.65 \times 10^8 \text{ m}^3$, 玉米的灌溉需水量增加 $7.94 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $8.32 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $8.78 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $9.30 \times 10^8 \text{ m}^3$, 春小麦的灌溉需水量增加 $4.97 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $5.16 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $5.42 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $5.76 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

参考文献

- [1] 秦大河, 王馥棠, 赵宗慈, 等. 气候变化对农业生态的影响[M]. 北京: 气象出版社, 2003
- [2] 刘德祥, 董安祥, 邓振镛. 中国西北地区气候变暖对农业的影响[J]. 自然资源学报, 2005, 20(1): 119-125
- [3] 林而达, 杨修. 气候变化对农业的影响评价及适应对策[C]. 气候变化与生态环境研讨会文集. 北京: 气象出版社, 2003: 72-77
- [4] Wang H L, Gan Y T, Wang R Y, et al. Phenological trends in winter wheat and spring cotton in response to climate changes in northwest China[J]. Agric For Meteorol, 2008, 148(8/9): 1242-1251
- [5] 刘晓英, 林而达. 气候变化对华北地区主要作物需水量的影响[J]. 水利学报, 2004, 2(2): 77-83
- [6] 任国玉, 姜彤, 李维京, 等. 气候变化对中国水资源形势影响综合分析[J]. 水科学进展, 2008, 19(6): 772-779
- [7] 熊伟, 杨婕, 林而达, 等. 未来不同气候变化情景下我国玉米产量的初步预测[J]. 地球科学进展, 2008, 23(10): 1092-1101
- [8] Allen R G, Richard G A, Luis S P, et al. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements[M]. FAO Irrigation and Drainage Paper, 1998, 56: 17-64
- [9] 千怀遂, 焦士兴, 赵峰. 河南省冬小麦气候适应性变化研究[J]. 生态学杂志, 2005, 24(5): 503-507
- [10] 李栋梁, 刘德祥. 甘肃气候[M]. 北京: 气象出版社, 2000: 34
- [11] 沈荣开, 张瑜芳, 黄冠华. 作物水分生产函数与农田非充分灌溉研究述评[J]. 水科学进展, 1995, 6(3): 248-254
- [12] 方文松, 刘荣花, 朱自玺, 等. 黄淮平原冬小麦灌溉需水量的影响因素与不同年型特征[J]. 生态学杂志, 2009, 28(11): 2177-2182