

新疆石河子垦区 50 年气候变化对棉花种植的影响

范文波^{1,2}, 江 煜¹, 吴普特^{2*}, 马枫梅³, 刘 兵¹

(1. 石河子大学水利建筑工程学院, 新疆 石河子 832003; 2. 西北农林科技大学水利与建筑工程学院,

陕西 杨凌 712100; 3. 石河子统计局, 新疆 石河子 832003)

摘 要: 对石河子垦区 1959~2008 年 50 a 的气象资料分析表明, 气候倾向为有利于棉花生产的发展趋势。分阶段研究发现: 1959~1980 年期间平均气温、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温和 ET_0 与棉花种植比例的关系不密切, 1981~2008 年期间关系密切; 总体上气候变化影响棉花种植主要是通过气候生产潜力来实现。分析棉花受灾比例的变化规律, 在 1959~1980 年间呈上升趋势, 绝对数值较小; 在 1981~2008 年间呈下降趋势, 绝对数值偏大; 气象灾害对棉花种植比例和单产的影响, 在 1981~2008 年间均比 1959~1980 年间严重。此外, 1981~2008 年间发生重大气象灾害的时间间隔明显缩短, 对今后棉花生产造成了很大的潜在威胁。

关键词: 棉花; 种植比例; 气候变化; 受灾比例; 石河子垦区

中图分类号: S162.5⁺4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2011)06-0244-05

农业生产与气候的关系密切, 气候变化对作物的影响已越来越成为研究的热点内容之一^[1,2]。随着全球气候变化, 我国西北气候表现为由暖干转向暖湿的特点^[3], 对干旱地区农作物生长和种植结构变化有明显的影响^[4~6]。新疆的棉花生产在全国具有很重要的地位, 新疆的气候变化整体上对棉花生长发育有促进作用^[7,8]。尤其在北疆地区, 气候变暖使棉花的各生育阶段均有提前的趋势^[9]。同样, 在石河子垦区所处的玛纳斯河流域, 气候也表现出向暖湿化发展的趋势^[10,11]。这对于棉花种植而言也有积极的促进作用。

石河子垦区是新疆棉花的主产区之一, 棉花是垦区经济收入的主要来源。自 20 世纪 50 年代开始种植棉花以来, 种植比例起伏较大, 1956 年为 30.08%, 1962 年下降到 6.54%。此后棉花种植比例一直较低, 1959~1980 年平均为 11.69%。进入 1981 年后, 石河子垦区棉花种植比例急速增长, 粮食与其它作物比重逐年下降; 1991 年棉花比例为 35.63%, 粮食比例为 33.91%, 棉花种植比例开始超过粮食; 到 2007 年棉花种植比例达到 92.81%, 而后又开始下降。棉花种植比例变化的原因既受经济需求和粮食需求的影响也受气候变化的影响。本文从气候变化角度出发, 采用统计学方法, 定量分析棉花种植与气候变化的关系, 为今后垦区种植结构调整

提供参考。

1 石河子垦区概况

石河子垦区地处天山北麓中段, 古尔班通古特沙漠南缘, 东经 $84^{\circ}58' \sim 86^{\circ}30'$, 北纬 $43^{\circ}27' \sim 45^{\circ}20'$, 平均海拔 300~500 m。石河子垦区属典型的温带大陆性气候, 冬季长而严寒, 夏季短而炎热, 年平均气温 $6.0^{\circ}\text{C} \sim 8.2^{\circ}\text{C}$, 日照时数 2 318~2 732 h, 无霜期 147~191 d, 年降水量 110~220 mm, 年潜在蒸发量 1 000~1 500 mm。石河子垦区面积约 7 529 km^2 , 人口 72 万人。水资源主要来自玛纳斯河, 河流源于天山, 终于玛纳斯湖; 多年径流量为 12.74 亿 m^3 , 径流季节性变化大^[12]。石河子垦区是典型的灌溉农业区, 棉花种植技术和管理水平在新疆很有代表性。

2 计算方法与数据来源

2.1 ET_0 计算方法

采用 FAO 推荐的 Penman—Monteith 公式 (FAO—56) 计算历年各月 ET_0 ^[13]。公式如下:

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta \times (R_n - G) + \frac{900 \gamma \times u_2 \times (e_s - e_a)}{(T + 273)}}{\Delta + \gamma \times (1 + 0.34 u_2)} \tag{1}$$

式中, ET_0 为参考作物蒸散量 (mm/d); R_n 为作物表

收稿日期: 2011-04-10
基金项目: 国家自然科学基金(30900865); 国家科技支撑计划(2011BAD29B09); 石河子大学“263”项目(SL04011, SL05018)
作者简介: 范文波(1975—), 男, 宁夏人, 博士生, 研究方向为农业高效用水。E-mail: xjfwb205@sina.com。
* 通讯作者: 吴普特(1963—), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向为水资源高效利用。E-mail: gjzwpt@vip.sina.com。

面的净辐射量 $[MJ/(m^2 \cdot d)]$; G 为土壤热通量 $[MJ/(m^2 \cdot d)]$; Δ 为饱和水汽压与温度曲线的斜率 $(kPa/^\circ C)$; γ 为湿度计常数 $(kPa/^\circ C)$; u_2 为 2 m 高处的平均风速 (m/s) ; e_s 为平均饱和水汽压 (kPa) ; e_a 为实际水汽压 (kPa) ; T 为平均气温 $(^\circ C)$ 。

2.2 气候生产潜力计算方法

计算植物气候生产潜力的经典模型主要有迈阿密模型 (Miami)、桑斯威特模型 (Thornthwaite-Memorial) 和筑后模型 (Chikugo)^[14]。因桑斯威特模型 (Thornthwaite-Memorial) 考虑因子较全面, 对植物生产力的估算更合理, 故本文采用该模型, 模型形式如下:

$$NPP = 30000 \times [1 - e^{(-0.0009695 \times (et - 20))}] \quad (2)$$

式中, NPP 为年平均实际蒸散量估算的植物干物质产量 $[kg/(hm^2 \cdot a)]$; et 为年平均实际蒸散量 (mm) 。鉴于 Penman-Monteith 公式计算的 ET_0 能综合概括各气象因子信息, 则文中 et 取 ET_0 的数值。

2.3 数据资料来源

文中主要数据资料包括气象因子、气象灾害和作物生产等方面。反映气候变化的主要指标为年平均气温、 $\geq 10^\circ C$ 积温和 ET_0 。由于石河子垦区是典型的灌溉农业区, 作物生长期有效降雨量有限, 对棉花生产的作用很弱, 因而不考虑。气象灾害按照统计口径包括干旱灾害、低温冻害、霜冻、冰雹、虫害等方面。气候资料来源于石河子气象站, 作物资料来源于《石河子社会经济统计年鉴》。在石河子垦区, 多年来棉花于 4 月份播种, 9~10 月收获。因此, 各要素数据统一选择 4~10 月的资料。各种资料时段统一为 1959~2008 年, 共计 50 a。

2.4 研究阶段划分

前人的研究表明, 在 1980~1990 年间新疆气候发生了重大变化^[3,9,15~17]。本文主要研究气候变化对棉花种植的影响, 为了更好地反映气候变化的作用, 则将 1959~2008 年 50 a 历史划分为两个时段分别研究, 第一阶段为 1959~1980 年, 第二阶段为 1981~2008 年。

3 结果与分析

3.1 气候变化对棉花种植的作用

3.1.1 温度对棉花种植的影响 棉花是喜温作物, 年平均气温和 $\geq 10^\circ C$ 积温对棉花生长非常重要。分析年平均气温和 $\geq 10^\circ C$ 积温与棉花种植比例的关系见图 1、图 2。50 年间, 年平均气温和 $\geq 10^\circ C$ 积温与

棉花种植比例总体呈线性关系。从两个阶段分别来看, 年平均气温与棉花种植比例的决定系数和作用系数在第一阶段分别为 0.0736 和 -0.9846, 在第二阶段分别为 0.3755 和 19.7430; $\geq 10^\circ C$ 积温与棉花种植比例第一阶段的决定系数 $R^2=0.0892$, 作用系数即回归系数为 -0.0053, 在第二阶段分别为 0.3885 和 0.1133。对比可以得出, 年平均气温和 $\geq 10^\circ C$ 积温与棉花种植比例的决定系数和作用系数在第一阶段均明显小于第二阶段, 即在第二阶段平均气温和 $\geq 10^\circ C$ 积温对棉花种植的作用强于第一阶段。说明气候正向有利于棉花生长的方向发展, 与前人的研究结果一致^[10]。

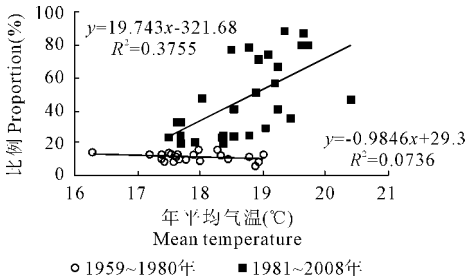


图 1 不同阶段年平均气温和棉花种植比例的关系
Fig.1 The relationship between mean temperature and cotton planting proportion at different periods

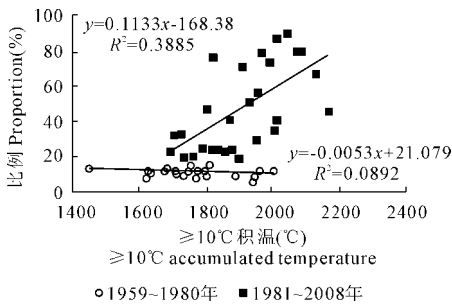


图 2 不同阶段 $\geq 10^\circ C$ 积温和棉花种植比例的关系
Fig.2 The relationship between mean temperature and cotton planting proportion at different periods

此外, 除年平均气温外, 极端温度的变化也会影响棉花的种植。如 2001 年石河子垦区遭受了历史上严重的低温灾害, 作物受灾比例为 82.62%, 棉花单产为 $991.00 kg/hm^2$, 明显低于 2000 年的 $1685 kg/hm^2$, 减产幅度达 41.19%; 导致 2002 年的种植比例下降为 71.56%, 较 2001 年的 74.24% 降低了 2.68 个百分点, 种植面积减少了 $1.91 \times 10^3 hm^2$ 。

3.1.2 ET_0 对棉花种植的影响 如同温度与棉花种植比例的关系, ET_0 与棉花种植比例有着类似的关系(图 3)。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

总体上, ET_0 与种植比例之间呈线性正相关趋势。分阶段讨论 ET_0 与种植比例的决定系数和作用系数, 第一阶段分别为 0.1909 和 -0.0235 , 第二阶段分别为 0.3835 和 0.2775; 第一阶段的决定系数和作用系数明显小于第二阶段, 即第二阶段 ET_0 对种植比例的影响强于第一阶段。

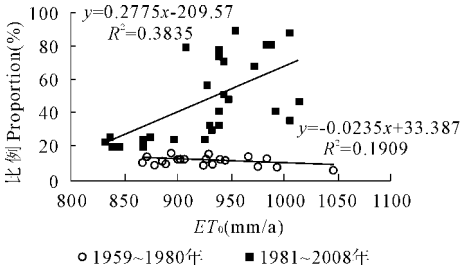


图 3 不同阶段 ET_0 与棉花种植比例的关系

Fig.3 The relationship between ET_0 and cotton planting proportion at different periods

采用 FAO 推荐的 Penman-Monteith 公式计算 ET_0 , 包含了温度、相对湿度、平均风速和日照时数等气象因子, 所得结果在一定程度上能综合反映气候的总体特征。 ET_0 与棉花种植比例呈线性正相关关系, 尤其是 1981 年后气候变化与棉花种植比例的关系更密切, 说明气候正向有利于棉花生长的方向发展。

3.1.3 气候变化影响棉花种植的原因分析 根据气候资源学原理, 气候变化会引起潜在生产力(气候生产潜力)的改变。根据桑斯威特方法计算石河子垦区气候生产潜力, 分析气候生产潜力和棉花产量的关系见图 4。分阶段讨论, 第一阶段气候生产潜力与棉花单产的决定系数和作用系数分别为 0.0053 和 0.0219, 第二阶段分别为 0.4474 和 0.5185; 第一阶段的决定系数和作用系数小于第二阶段, 即第二阶段气候生产潜力对产量的作用强于第一阶段。气候生产潜力反映了理想条件下区域作物可能达到的产量数值, 气候生产潜力与实际单产的关系密切, 且为正相关作用, 表现出气候变化正向有利于作物产量提高的趋势发展。

根据棉花产量与种植比例的关系(见图 5), 50 a 来棉花单产与种植比例呈良好的指数关系, 决定系数 $R^2=0.7422$ 。说明棉花单产对种植比例影响明显。气候生产潜力受光、温度等气象因子的影响, 当我国西部地区气候变暖时, 气候生产潜力也有增加的趋势^[18]。分析气温、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温和 ET_0 对棉花种植比例影响的本质, 其实是气候生产潜力不断上升,

促进了棉花单产的提升, 进而由产量影响到了种植比例的变化。

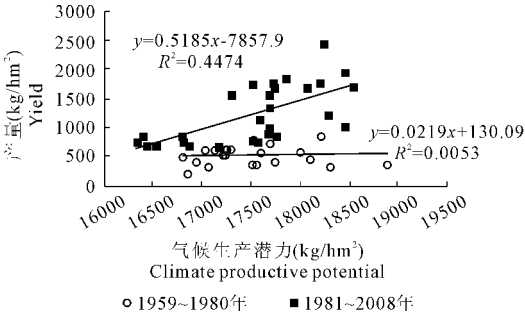


图 4 气候生产潜力与棉花单产的关系

Fig.4 The relationship between climate productive potential and cotton yield per unit area at different periods

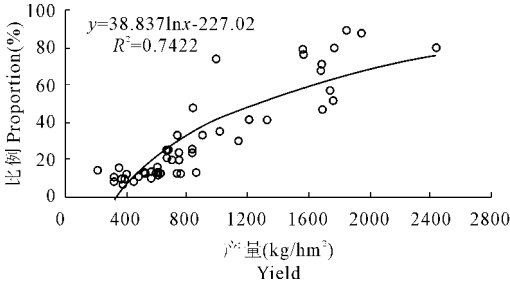


图 5 棉花产量和种植比例的关系

Fig.5 The relationship between cotton yield per unit area and cotton planting proportion

3.2 气象灾害对棉花种植的影响

3.2.1 气象灾害变化的特点 50 a 来石河子垦区棉花受灾比例变化见图 6。在第一阶段受灾比例总体呈上升趋势, 第二阶段呈下降趋势, 但是, 第二阶段受灾比例的绝对数值明显高于第一阶段; 第一阶段多年平均受灾比例 22.87%, 第二阶段多年平均受灾比例 47.02%, 二者相差两倍多。相比而言, 今后虽然受灾比例整体可能呈现下降趋势, 但是潜在危害依然很大。

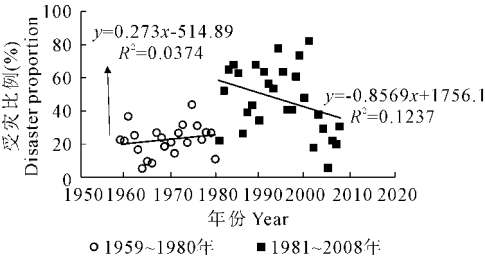


图 6 不同阶段受灾比例与棉花产量的关系

Fig.6 The relationship between disaster proportion and cotton yield at different periods

气候变化过程中, 极端气候事件伴随而生, 因极

端气候引发的气象灾害也不断发生^[19~21]。根据石河子垦区的情况,本文重大气象灾害定义界定为年受灾比例超过该历史阶段平均数值的 1.5 倍。1959~1980 年期间重大气象灾害发生了 2 次,分别在 1961 年、1975 年,时间间距为 14 a;1981~2008 年期间重大气象灾害发生了 4 次,分别在 1984 年、1989 年、1994 年和 2001 年,平均时间间距约为 6 a。结合前人的研究,石河子垦区今后发生重大气象灾害的时间间距有变小的趋势,即重大气象灾害发生的频率越来越高^[21]。

3.2.2 气象灾害变化对棉花种植的影响 分析气象灾害对棉花种植比例和单产的影响见图 7、图 8。

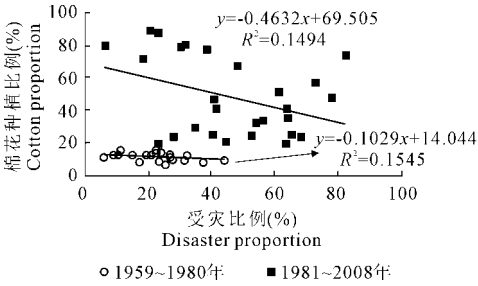


图 7 不同阶段受灾比例与棉花种植比例的关系
Fig. 7 The relationship between disaster proportion and cotton planting proportion at different periods

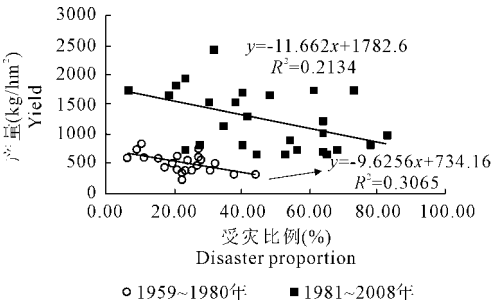


图 8 不同阶段受灾比例与棉花产量的关系
Fig. 8 The relationship between disaster proportion and cotton yield at different periods

结果表明,1959~1980 年和 1981~2008 年两个阶段,受灾比例与棉花种植比例和产量都呈负相关。对棉花种植比例的影响,第一阶段的作用系数为-0.1029,第二阶段是-0.4632。对棉花产量的影响,第一阶段作用系数为-9.6256,第二阶段为-11.662,说明受灾比例对棉花种植比例和产量的影响,在第二阶段均比第一阶段大,与受灾比例第二阶段均比第一阶段大的结果一致。

综合分析可知,气候变化在趋向有利于棉花生长的同时,也引起对作物生长不利的因素的增加,气

象灾害、极端气候事件频繁发生对作物生长造成的影响也越来越明显,说明今后棉花种植风险越来越高。因此,为确保农业生产的安全持续发展,应及时关注气象灾害对作物的影响,及时提出应对策略,而非单纯根据经济需求盲目扩大或者缩减种植面积。

4 结 论

1) 50 a 来,在石河子垦区年平均气温、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温和 ET_0 向有利于棉花生产的趋势发展。分阶段研究发现,1959~1980 年气候变化对棉花种植比例的影响较弱,1981~2008 年期间影响明显。气候变化影响棉花种植比例的途径是通过影响气候生产潜力,并以之影响棉花单产,进而对棉花种植比例产生影响。

2) 研究棉花受气象灾害的情况表明,在 1959~1980 年间棉花受灾比例呈上升趋势,绝对数值较小;在 1981~2008 年间棉花受灾比例呈下降趋势,绝对数值偏大。气象灾害对棉花种植比例和单产的影响,在 1981~2008 年间均比 1959~1980 年间严重。比较重大灾害发生的次数与时间间距,在 1981~2008 年之间重大灾害发生的次数明显增加,间隔时间明显缩短,增加了棉花的种植风险。

参 考 文 献:

[1] 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.
[2] 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.
[3] 施雅风,沈永平,胡汝骥. 西北气候由暖干向暖湿转型的信号、影响和前景初步探讨[J]. 冰川冻土,2002,24(3):219-226.
[4] 高振荣,刘晓云,杨庆华,等. 极干旱区气候变暖与种植业结构变化趋势分析——以敦煌市为例[J]. 干旱地区农业研究,2010,28(4):258-263.
[5] 邓振镛,王鹤龄,李国昌,等. 气候变暖对河西走廊棉花生产影响的成因与对策研究[J]. 地球科学进展,2008,23(2):160-166.
[6] 邓振镛,张 强,刘德祥,等. 气候变暖对甘肃种植业结构和农作物生长的影响[J]. 中国沙漠,2007,27(4):627-632.
[7] 宋艳玲,张 强,董文杰. 气候变化对新疆地区棉花生产的影响[J]. 中国农业气象,2004,25(3):15-20.
[8] 胡江玲,满苏尔·沙比提,娜斯曼·那斯尔丁. 新疆阿图什市气候变化特征及其对农业生产的影响[J]. 干旱地区农业研究,2010,28(4):258-263.
[9] 李迎春,谢国辉,王润元,等. 北疆棉区棉花生长期气候变化特征及其对棉花发育的影响[J]. 干旱地区农业研究,2011,29(2):253-258.

[10] 唐湘玲,刘姣娣,吕新.石河子地区近 48 年来气候变化对棉花产量影响分析[J].中国农学通报,2010,26(20):324—329.

[11] 高培,魏文寿,刘明哲.玛纳斯河流域绿洲区气候变化特征分析与预测[J].干旱区资源与环境,2011,25(6):161—167.

[12] 新疆维吾尔自治区水利厅.新疆水利学会.新疆河流水文水资源[M].乌鲁木齐:新疆科技卫生出版社,1999.

[13] FAO. Irrigation and drainage paper 56. Crop evapotranspiration Guidelines for computing crop water requirements, 1998, Rome.

[14] 周广胜,张新时.自然植被净第一性生产力模型初探[J].植物生态学报,1995,19(3):193—200.

[15] 李珍,姜逢清.1961—2004 年新疆气候突变分析[J].冰川冻土,2007,29(3):351—359.

[16] 胡汝骥,姜逢清,王亚俊,等.新疆气候由暖干向暖湿转变的信号及影响[J].干旱区地理,2002,25(3):194—200.

[17] 刘波,冯锦明,马柱国.1960—2005 年新疆气候变化的基本特征[J].气候与环境研究,2009,14(4):414—426.

[18] 王馥棠,赵宗慈,王立石,等.气候变化对农业生态的影响[M].北京:气象出版社,2009:96—124.

[19] 任国玉,封国林,严中伟.中国极端气候变化观测研究回顾与展望[J].气候与环境研究,2010,15(4):337—353.

[20] 刘吉峰,丁裕国,江志红.全球变暖加剧对极端气候概率影响的初步探讨[J].高原气象,2007,26(4):837—842.

[21] 徐羹慧,毛伟峰,陆帼英.新疆气象灾害近期变化和防灾减灾工作综合评述[J].沙漠与绿洲气象,2008,2(1):50—54.

Impacts of climate change on planting proportion of cotton in Shihezi area in the recent 50 years

FAN Wen-bo^{1,2}, JIANG Yu¹, WU Pu-te^{2*}, MA Feng-mei³, LIU Bing¹

(1. College of Water Conservancy and Architecture Engineering, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832003, China;

2. College of Water Conservancy and Architecture Engineering, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

3. Shihezi Statistic Bureau, Shihezi, Xinjiang 832003, China)

Abstract: The meteorological data of Shihezi area during 1959~2008 was analyzed. The results showed that the climate turned a favorable trend for cotton production. The research period was divided into two stages, which showed that there was no close relationship between annual average temperature, accumulated temperature $\geq 10^{\circ}\text{C}$, ET_0 and planting proportion of cotton during 1959~1980, but they had a close relationship during 1981~2008. The overall impacts of climate change on the planting proportion of cotton were achieved mainly though the influence of climatic potential productivity on cotton yield. The variation of the proportion of cotton afflicted had an upward trend during 1959~1980, while the absolute value was small; whereas the trend during 1981~2008 was downward, while the absolute value was large. The impacts of meteorological disasters on planting proportion of cotton were more severe in the second phase than in the first. The time interval of meteorological disasters was significantly shorter during 1981~2008, which has caused a potential threat to cotton production in the future.

Keywords: cotton; planting proportion; climate change; afflicted proportion; Shihezi area