

DOI: 10.5846/stxb201407161453

王梅, 杨倩, 郑江华, 刘志辉. 1963—2012 年新疆棉花需水量的时空分布特征研究. 生态学报, 2016, 36(13): - .

Wang M, Yang Q, Zheng J H. Spatial and temporal distribution of water requirement of cotton in Xinjiang from 1963 to 2012. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(13): - .

1963—2012 年新疆棉花需水量的时空分布特征研究

王 梅^{1,2}, 杨 倩^{1,2}, 郑江华^{1,2,*}, 刘志辉^{1,3}

1 新疆大学资源与环境科学学院, 乌鲁木齐 830046

2 新疆大学智慧城市与环境建模重点实验室, 乌鲁木齐 830046

3 新疆大学干旱与半干旱生态研究所, 乌鲁木齐 830046

摘要: 研究基于新疆地区 54 个国家基本气象站 1963—2012 年的逐日气象资料, 采用联合国粮食与农业组织 FAO 推荐的 Penman-Monteith 公式及作物系数法, 计算了近 50 年来新疆棉花全生育期和各生长阶段需水量。并利用线性趋势估计、MK 检验、空间插值法对农作物全生育期及各生长阶段需水量年际变化趋势和空间分布特征进行分析。结果表明: 1) 1963—2012 年, 新疆 54 个气象站棉花全生育期平均需水量为 759 mm, 各站变化范围为 555—1205 mm, 差异明显。其空间分布整体呈现西北向东南递增、南疆大于北疆、东部大于西部的趋势。2) 1963—2012 年, 在棉花的生长初期与发育期, 全疆需水量空间分布总体由北向南增大并呈带状。在棉花的生长中期与生长末期, 需水量空间分布表现为由西向东增大的格局。3) 近 50 年棉花不同生长阶段需水量总体呈现下降趋势, 并且除了生长中期下降趋势较显著外其他都不太明显。其中, 生长中期下降速率最大为 6.1 mm/10a, 发育期及生长末期下降速率次之分别为 2 mm/10a 和 1.3 mm/10a, 生长初期下降速率最小, 需水量以 0.6 mm/10a 的速率递减。4) 新疆 1963—2012 年棉花全生育期需水量总体呈下降趋势, 递减速率平均约为 5.3 mm/10a, 并在 1981 年开始发生突变。5) 全生育期年需水量下降倾向率总体呈现与全生育期平均需水量相同的空间分布特征, 总体呈现北疆小于南疆、东部大于西部、由西北向东南递增的空间分布特征。

关键词: 新疆; 棉花; Penman-Monteith 公式; 需水量; 趋势分析; 空间分布

Spatial and temporal distribution of water requirement of cotton in Xinjiang from 1963 to 2012

WANG Mei^{1,2}, YANG Qian^{1,2}, ZHENG Jianghua^{1,2,*}, LIU Zhihui^{1,3}

1 School of Resources & Environment Science, Xinjiang University, Urumqi 830046, China

2 Xinjiang Key Lab of Smart city and Environment Modeling Lab, Xinjiang University, Urumqi 830046, China

3 Institute of Arid Ecology and Environment, Xinjiang University, Urumqi 830046, China

Abstract: Using the daily meteorological data from 54 stations in Xinjiang from 1963 to 2012, the water requirements of cotton (WRC) during the whole growing period and at different growth stages were calculated based on the FAO Penman-Monteith model and crop coefficient method. In addition, we used the methods of linear regression, Mann-Kendall test, and inverse distance weighting to analyze the spatio-temporal changes in WRC in Xinjiang in the last 50 years. The results show the following: 1) The average WRC during the whole growing period in Xinxiang was 759 mm. The values of WRC obtained from 54 meteorological stations in Xinxiang ranged between 555 mm and 1205 mm. The overall spatial distribution of WRC in Xinxiang varied obviously. The WRC in the south-east, south, and east was greater than that in the north-west, north, and west, respectively. 2) The WRC during the early growth and developmental stages of cotton in Xinxiang from 1963 to

基金项目: 水利部公益性行业科研专项(201301103)资助和教育部促进与美大地区科研合作与高层次人才培养项目(117-40101)联合资助

收稿日期: 2014-07-16; **修订日期:** 2015-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zheng_jianghua@126.com

2012 was assumed to be zonal and increased from north to south. During the middle and end growth stage, the WRC in the east was greater than that in the west. 3) The WRC at different growth stages showed a decreasing trend in the past 50 years, with the middle growth stage showing a more obvious downward trend. The greatest decline of 6.1 mm/10 years was observed in the middle growth stage, followed by 2 mm/10 years during the developmental stage and 1.3 mm/10 years in the end growth stage. The smallest decline of 0.6 mm/10 years was detected in the initial stage. 4) The WRC of the whole growing period in Xinxiang was overall reduced from 1963 to 2012. The average decline was 5.26 mm/10 years and the mutation of decline in Xinxiang began in 1981. (5) The spatial distribution of the decline in the average annual water requirement was similar to the average water requirement during the whole growing period. Generally, the spatial distribution of water requirement in Xinxiang was ascending from north-west to south-east.

Key Words: Xinjiang; cotton; Penman-Monteith formula; water requirement; trend analysis; spatial distribution

近百年来,气候正经历一次以全球变暖为主要特征的显著变化^[1]。联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)和联合国粮食及农业组织(FAO)都将农业列为最易遭受气候变化影响、最脆弱的产业之一[2]。作物需水量是确定作物灌溉制度以及地区灌溉用水量的基础,是流域规划、地区水利规划、灌溉工程规划设计和管理的依据^[3]。科学地确定气候变化背景下农作物的需水量、灌溉水量,分析农作物需水量的空间变化规律,对全面了解作物需水耗水规律,对于节水农业的发展、水资源的集约管理、水分利用效率的提高以及作物产量的模拟预测,均具有重要意义和作用^[4]。新疆是我国最为干旱的内陆灌溉农业区,降水稀少、蒸发强烈、气候干旱。近年来由于人口增加、经济发展导致新疆水资源供需矛盾尖锐。新疆是中国重要棉花产区,棉花生产用水在新疆农业用水中占有相当大的比重,新疆棉花需水量的时空估算与新疆农业可持续发展有着重要的关系。由于新疆水资源紧缺,时空分布不均匀,掌握主要作物需水量的时空分布特征,是水资源科学合理调配的重要基础。

目前,针对作物需水耗水时空变化规律的研究较多。杨剑等^[5]采用 Penman-Monteith 模型和春玉米作物系数计算了西辽河流域 10 个气象台站 1951—2005 年春玉米需水量,并对全生育期需水量、生育期各月需水量、各气象要素变化趋势及关联度进行了分析。李勇等^[6]利用长江中下游地区 91 个气象站点 1961—2007 年地面观测资料和 63 个农业气象试验站 1981—2006 年水稻生育期观测资料,采用 FAO 推荐的彭曼公式分析比较长江中下游地区双季稻和单季稻需水量的时空分布特点及变化趋势。尹海霞等^[7]根据黑河流域中游地区气象站点逐日气象资料,利用 Penman-Monteith 模型和所提供的作物系数计算出主要作物不同生育阶段的需水量,采用 Mann-Kendall 趋势分析法对主要作物需水量的变化特征进行了研究,并对引起作物需水量的驱动因子进行了相关性分析。刘玉春等^[8]在研究棉花需水量的基础上,利用水文学方法分析了不同水文年份棉花的灌溉需水量和灌溉需求指数。杨琪等^[9]基于河东地区 50a 气象资料,利用 Penman-Monteith 公式,计算了冬、春小麦全生育期的需水量和缺水量,并分析其变化趋势及影响气象因子。

在干旱和半干旱地区,水资源不足已经成为制约农业生产和发展的主要因素,通过分析作物需水量的时空分布特征,研究作物需水规律,对水资源开发利用,农田水利工程规划和设计,分析和计算灌溉用水等具有实际的意义。对干旱区农作物需水量的供求关系的分析方面,有人做过一些研究^[10],但对作物需水、灌溉水的时空变化特征研究较少。本文基于新疆地区 54 个国家基本气象站逐日气象数据,采用美国农业部土壤保持局推荐的方法计算了有效降水量,利用联合国粮食与农业组织 FAO 推荐的 Penman-Monteith 公式和作物系数法,计算了近 50 年来新疆棉花全生育期和各生长阶段的段需水量,利用线性趋势估计、MK 检验、空间插值法分析了农作物需水时空分布特征,旨在为新疆水资源合理配置及作物结构布局提供科学参考,也为制定适应气候变化下作物及水资源政策提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

新疆位于中国西北边境,面积为 166 万 km^2 ,占中国国土总面积的 1/6,是古丝绸之路的重要通道。新疆被喻为“三山夹两盆”:北部阿尔泰山,南部为昆仑山西;天山横亘于新疆的中部,把全疆分为南北两半,南部是塔里木盆地,北部是准噶尔盆地。习惯上称天山以南为南疆,天山以北为北疆。新疆地处亚欧大陆腹地,远离海洋,四周有高山阻隔,海洋湿气不易进入,形成典型的温带大陆性气候。新疆的农业属于绿洲灌溉性农业区,新疆棉区是我国最大的棉区,全疆 86 个县中有 63 个县常年棉花种植,其棉花种植面积、总产、单产自 1994 年以来均居全国之首,已成为我国最大的棉花生产基地^[11]。

1.2 研究资料

本研究所用数据为新疆地区 54 个气象站 1963—2012 年的地面逐日气象资料,源于中国气象科学数据共享服务网(<http://cdc.cma.gov.cn>),所使用的气象要素包括逐日最低气温、最高气温、降水量、平均气压、平均水汽压、平均风速、日照时间等。棉花生育期的资料来源于中国农作物生长发育和农田土壤湿度旬值数据集及相关文献^[12],作物系数采用 FAO 的推荐值并进行修正。

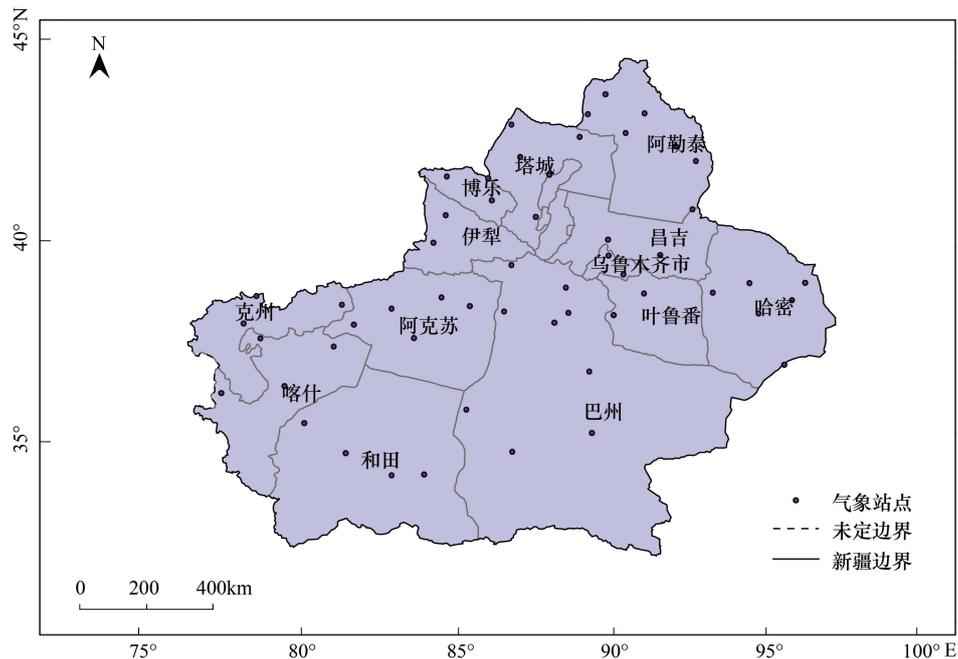


图 1 新疆气象站点图

Fig.1 Meteorological sites map of Xinjiang

1.3 研究方法

1.3.1 棉花需水量的计算

作物需水量是在理想的生长条件下作物从种植到收获所需的蒸散量,一般利用参考作物蒸散发量和作物系数法进行计算,计算公式如下:

$$ET_c = K_c \times ET_0 \quad (1)$$

式中, ET_c 为某一时期作物的需水量,单位 mm ; K_c 为对应时期的作物系数,表征作物生物学特性对需水量的影响; ET_0 为相应时期的参考作物蒸散量,单位 mm ,表征气象因素对作物需水量的影响。

参考作物蒸散量(ET_0)的计算采用 FAO(1998)推荐的 Penman-Monteith 公式计算^[13]。参考作物蒸散量定义为:假定参考作物的高度为 0.12 m,作物冠层阻力为常数且等于 70 s/m ,地表反射率为 0.23,则 ET_0 可由

下式进行表示^[14]

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} V_2 (P_a - P_b)}{\Delta + \gamma(1 + 0.3V_2)} \quad (2)$$

式中, R_n 地面净辐射蒸发当量 ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$); G 土壤热通量 ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$); γ 温度计常数, $\text{kPa}^\circ\text{C}^{-1}$; T 平均气温 ($^\circ\text{C}$); V_2 为 2m 高的风速 (m/s); p_a 饱和水汽压 (kPa); p_b 实际水汽压, Δ 为温度-饱和水汽压曲线的斜率 ($\text{kPa}/^\circ\text{C}$); 其中 R_n 、 G 、 Δ 、 V_2 可通过气象台站观测资料计算求得。

作物系数, 反映实际作物和参考作物之间需水量的差异, 是作物某生长发育阶段的需水量 ET_c 与该阶段参考作物蒸散量 (ET_0) 的比值。作物系数与作物生育阶段有关, FAO-56 对作物生育期划分为 4 个阶段: 生长初期、发育期、生长中期、生长后期。其中, 初始生长期是由播种至覆盖率接近 10%, 生长发育期是从覆盖率 10% 到完全覆盖, 生长中期从完全覆盖到成熟期开始, 生长末期从成熟到收获^[15]。不同阶段的需水规律为: 随着作物生长和叶面积的增加, 需水量也不断加大, 在作物苗期, 需水量较小, 当作物进入生长旺盛期, 需水量增加很快, 叶面积最大时, 作物需水量出现高峰期, 到作物成熟期, 需水量又迅速下降^[16]。

北疆棉花一般在 4 月 30 日前后播种, 10 月 9 日左右收获, 生长期约为 160 d。其中生长初期、快速发育期、生长中期和成熟期分别为 25、35、55、45 d。南疆棉花一般在 4 月 11 日前后播种, 10 月 15 日左右收获, 生长期约为 185 d。其中生长初期、快速发育期、生长中期和成熟期分别为 30、50、55、50 d。本文在计算作物需水量时, 根据研究区气候特征采用 FAO-56 推荐的作物系数值进行修正。对应的作物系数如表 1 所示:

表 1 棉花不同生育阶段的作物系数 Kc 取值
Table 1 Kc values of the crops at different development stages

作物 Crop	生育阶段 Growth Stage	作物系数 Crop Coefficient
棉花 Cotton	生长初期	0.35
	发育期	0.76
	生长中期	1.18
	生长末期	0.6

有研究表明对于没有试验资料或试验资料不足的地区, 可以利用 FAO 推荐的冬小麦标准作物系数和修正公式, 根据当地气候、土壤、作物等进行修正计算^[13], 具体计算步骤如下: 首先, 对于大多数一年生作物, 根据作物生长发育特征, 将作物生育期划分为初始生长期(从播种到作物覆盖率接近 10%, 此阶段作物系数为 Kc_{ini})、快速发育期(从覆盖率 10% 到充分覆盖, 此阶段作物系数从 Kc_{ini} 提高到 Kc_{min})、生育中期(从充分覆盖到成熟期开始, 此阶段作物系数为 Kc_{min}) 和成熟期(从叶片开始变黄到生理成熟或收获, 此阶段作物系数从 Kc_{min} 下降到 Kc_{end})^[17]。对于冬小麦取 $Kc_{ini} = 0.7$, $Kc_{min} = 1.15$, $Kc_{end} = 0.4$, 其中越冬期的作物系数 $Kc_{fro} = 0.4$ 。最后, 根据当地气候条件修正作物系数, 计算公式^[13]如下所示:

$$Kc = Kc_{tab} = [0.04(U_2 - 2) - 0.004(RH_{min} - 45)] \left(\frac{h}{3}\right)^{0.03} \quad (3)$$

式中, Kc_{tab} 为不同生育阶段标准条件下的作物系数 (Kc_{min} 、 Kc_{end} 和 Kc_{end}); U_2 为该生育阶段内 2m 高度处的日平均风速 (m/s); RH_{min} 为该生育阶段内日最低相对湿度的平均值 (%); h 为该生育阶段内作物的平均高度 (m)。

1.3.2 需水量趋势变化及突变分析

利用线性倾向估计和 Mann-Kendall 法对新疆 1963—2012 年新疆地区棉花需水量变化趋势进行分析。

线性倾向估计^[18]是用一条合理的直线表示两变量之间的关系, 建立变量 Y 与时间 t 之间的一元线性回归方程。如下:

$$Y = a + bt \quad (4)$$

式中, a 为回归常数, b 表示倾向率。以 $10 \times b$ 表示需水量每 $10a$ ($\text{mm}/10a$) 的倾向率,其正值表示需水量呈增加趋势,负值呈减少趋势。判断变化趋势的程度是否显著,需要计算相关系数 r 并对其进行显著性检验,选定显著性水平值 α ,若 $|r| > r_{\alpha}$,说明 Y 随时间 t 的变化趋势是显著的,否则不显著。

Mann-Kendall 趋势分析检验法是一种非参数统计检验方法,通过计算 UF 和 UB 两个统计量,可以分析得到变化趋势、突变时间区域及突变开始时间。能很好的揭示时间序列的趋势变化,其优点是不需要样本遵从一定的分布,也不受少数异常值的干扰^[19]。

1.4 数据处理

根据以上方法计算 54 个气象站点的年平均需水量后,利用 ArcGIS 反距离权重差值方法(IDW)^[20] 对各气象站计算得到的棉花需水量及倾向率进行空间插值,产生空间栅格数据,并利用自然断裂法对栅格数据进行分类,获得新疆近 50 年平均棉花需水量及倾向率空间分布图。

2 结果与分析

2.1 棉花全育期、各生长阶段需水量及空间分布

2.1.1 棉花全育期需水量及空间分布

1963—2012 年,新疆 54 个气象站棉花全育期平均需水量为 759 mm,各站变化范围为 555—1205 mm,差异明显。新疆棉花全育期平均需水空间分布如图 2,阿勒泰地区、塔城北部、拜城县、伊犁地区需水量最小为 555.69—726.22 mm,天山北麓至准噶尔盆地腹地的博州、天山南麓的阿克苏南部、巴州西部、喀什地区及和田大部分地区需水量为 726.22—810.22 mm,昌吉东南部、吐鲁番东部及克孜勒苏柯尔克孜自治州的西北部需水量为 810.22—922.21 mm,新疆哈密的西部、阿拉山口及巴州中部则形成需水量高值区,需水量范围在 922.2—1204.73 mm。可以看出其空间分布整体呈现西北向东南递增、南疆大于北疆、东部大于西部的趋势。

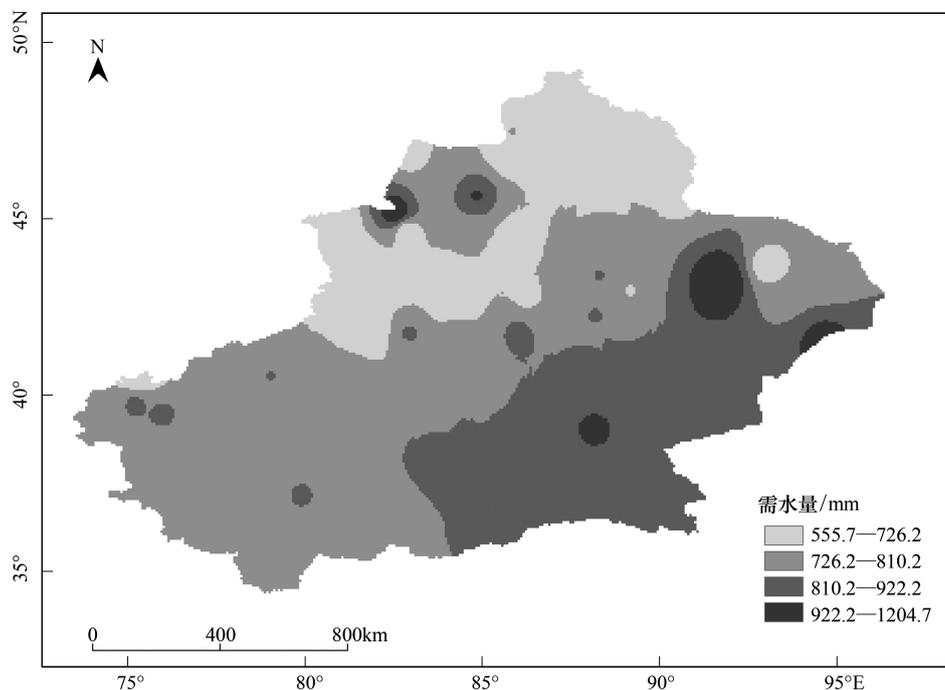


图 2 1963—2012 年新疆棉花全育期平均需水量空间分布

Fig.2 Spatial distribution of average water requirement in whole growing period of cotton from 1963 to 2012

棉花需水量主要由气候因素及种植区位置决定,气温越高、风速越大、日照时间越长的地区需水量越大。北疆气候较南部更温和,生长周期较短,所以北疆棉花需水量小于南疆,东部地区由于气候干燥、日照时间、风

速均较大,因此东部棉花需水量也高于西部。

2.1.2 棉花不同生长阶段需水量及空间分布

新疆地区 1963—2012 年棉花各生长阶段需水量空间分布如图 3。图 3a 为棉花生长初期需水量空间分布情况,全疆平均需水量 50 mm,范围为 32—73 mm。需水量空间分布差异明显,总体由北向南增大并呈带状分布,塔城、阿勒泰地区、昌吉州西部为低值区,天山北麓、南麓地区为中区,塔克拉玛干沙漠南缘的和田、且末、若羌、吐鲁番、木垒及哈密等地为高值区。图 3b 为棉花发育期需水量空间分布情况,全疆平均需水量 198 mm,范围为 118—275 mm。需水量空间分布总体由北向南增大并大体呈带状分布,塔城北部、阿勒泰地区、昌吉西部为低值区,需水量在 118—171 mm 之间,天山北麓、南麓地区为中区,需水量在 171—223 mm 之间,和田、且末、若羌等巴州地区及哈密等地为高值区,需水量在 223—275 mm 之间。图 3c 为棉花生长中期需水量空间分布情况,全疆平均需水量 394 mm,范围为 278—664 mm。需水量空间分布大体上呈带状并且自西向东增大,伊犁、阿克苏、喀什、和田、阿勒泰地区等地为低值区,塔城北部、昌吉东北部、巴州中南及西部等地为中区,吐鲁番、哈密西部及塔城中部地区为高值区。图 3d 为棉花生长末期需水量空间分布情况,全疆平均需水量 117 mm,范围为 86—190 mm。需水量空间分布同样总体呈带状且由西向东增大,伊犁、阿勒泰地区、阿克苏的西北部及中部、昌吉西北部等地区为低值区,塔城地区除西北部之外的大部分区域、和田、喀什及巴州为中区,阿拉山口、吐鲁番、哈密西部为高值区。

从新疆棉花不同生育阶段需水量的对比可知,生长中期需水量最大、发育期次之、生长初期最小。同样比较新疆棉花不同生育阶段需水量空间分布状况,可以看出生长初期和发育期均是呈带状由北向南增大,而生长中期和生长末期同样具有大致相同空间分布特征,东高西低成带状分布。

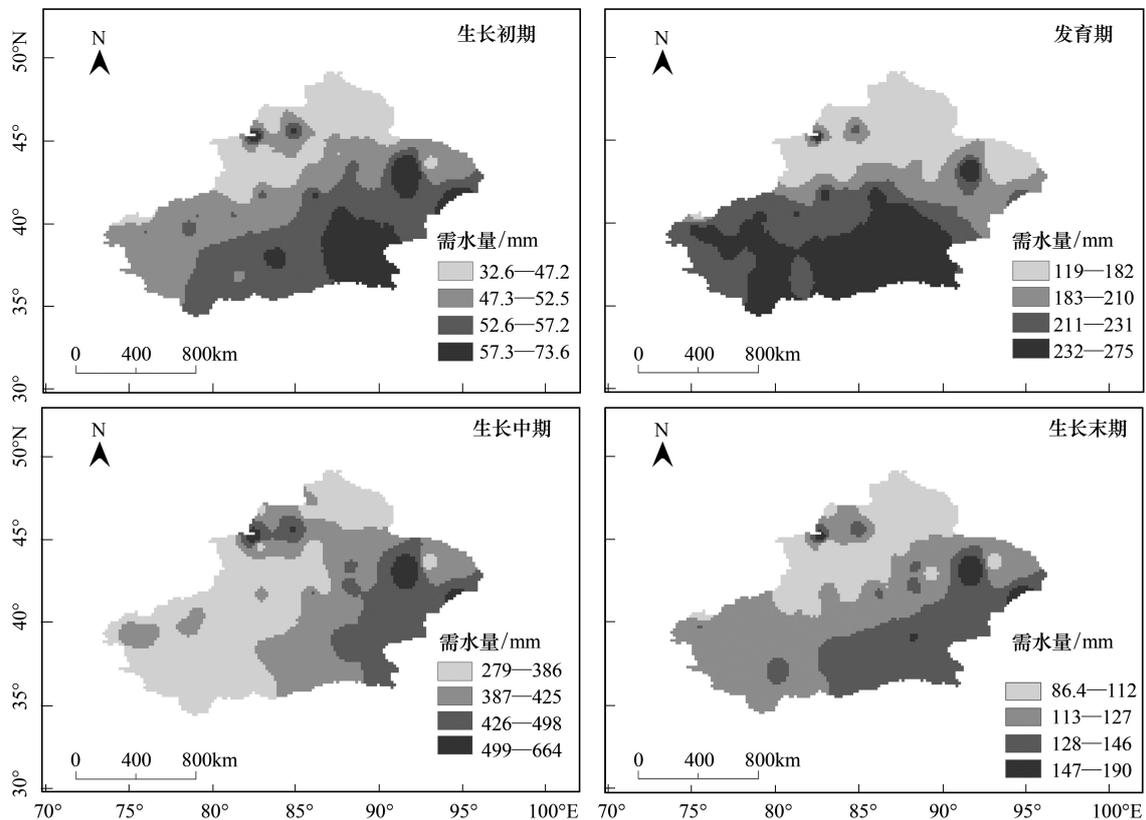


图 3 1963—2012 年新疆棉花不同生长阶段平均需水量空间分布

Fig.3 Spatial distribution of average water requirement in different growth stages of cotton from 1963 to 2012

2.2 棉花不同生长阶段和全育期需水量年际变化趋势

2.2.1 棉花不同生长阶段需水量年际变化趋势

新疆 1963—2012 年,棉花不同生长阶段需水量年际变化情况见表 2。可知近 50 年,棉花生长初期需水量以 0.6 mm/10a 的速率递减,并通过 0.05 的显著性水平检验;发育期需水量以 2 mm/10a 的速率递减,并通过 0.05 的显著性水平检验;生长中期需水量以 6.1 mm/10a 速率递减,并通过 0.001 的显著性检验;生长末期需水量以 1.3 mm/10a 速率递减,并通过 0.05 的显著性水平检验。

表 2 新疆棉花不同生长阶段需水量年际变化趋势

Table 2 Changed trend of water requirement of cotton during different growth stages in Xinjiang

生长阶段 Growth Phase	生长初期 Early Growth Stage	发育期 Development Period	生长中期 Growth Medium	生长末期 Late Growth Stage
倾向率 Tendency Rate	-0.0638	-0.2074	-0.6166	-0.1356
相关系数 r Correlation Roefficient r	-0.3479	-0.3704	-0.5118	-0.396
显著性检验 Significance Test	*	*	**	*

注: ** 表示通过 0.001 显著水平检验, * 表示通过 0.05 显著水平检验

新疆近 50 年棉花不同生长阶段需水量总体呈现下降趋势,并且除了生长中期下降趋势较显著外其他都不太明显。其中,生长中期下降速率最大、发育期及生长末期下降速率次之、生长初期下降速率最小。

2.2.2 棉花全育期需水量年际变化趋势

新疆 1963—2012 年棉花全育期需水量变化趋势如图 4,可知近 50 年棉花全育期需水量最高年份是 1978 为 808.67 mm,最低年份是 1993 为 697.36 mm,平均年需水量为 759 mm。全育期内棉花需水量总体呈下降趋势,递减速率为 5.26 mm/10a,并通过 0.001 的显著性水平检验。利用 MK 法在 DPS 软件中对新疆 1963—2012 年棉花全育期需水量变化趋势进行突变检验,结果如图 5。由正序曲线 a1 可知,自 20 世纪 80 年代初期,新疆棉花全育期需水量有明显的下降趋势,并且 20 世纪 80 年代末期年至今这种下降趋势大大超过了 0.01 显著性水平,说明棉花需水量下降趋势是十分明显的。正序曲线 a1 和逆序曲线 a2 在置信度区间于 1981 年有一个交点,表明新疆棉花需水量下降是突变现象,突变开始时间为 1981 年。

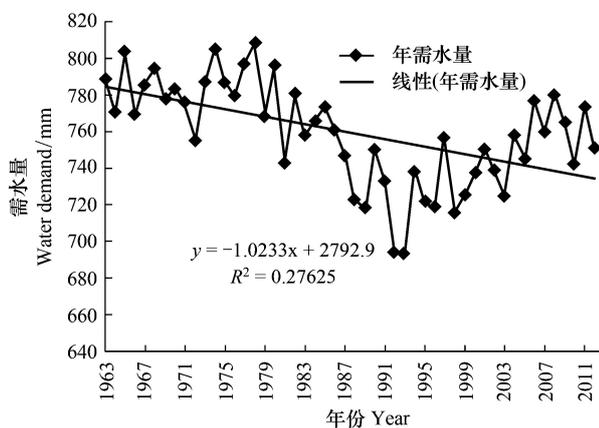


图 4 新疆棉花全生育期需水量变化趋势

Fig. 4 Changed trend of annual water requirement in whole growing period of cotton

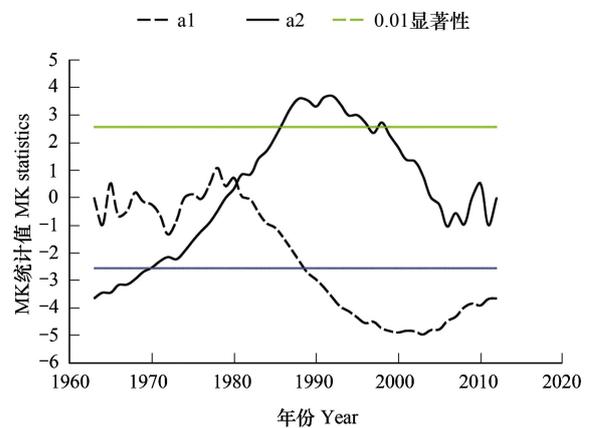


图 5 新疆棉花全生育期年际变化趋势

Fig. 5 Annual changed trend in whole growing period of cotton in xinjiang

此外,考察棉花需水量年际变化发现,1963 至 1981 年正序曲线 a1 在 0 附近小幅波动,说明此段时间棉花需水量变化趋势不明显,处于相对平稳状态;1981 年 a1 开始偏离 0,而且 a1 值下降趋势越来越明显,说明 1981 年以来棉花全育期需水量呈持续下降趋势,且下降趋势加剧。可以看到 MK 法检测到的需水量变化趋势与线性倾向估计结果一致。

2.3 棉花全生育期需水量年际变化趋势空间分布

新疆 1963—2012 年棉花全生育期需水量变化趋势空间分布情况如图 6, 可以看到除克孜勒苏柯尔克孜自治州的西部、皮山、富蕴及巴里坤等区域棉花需水量呈现上升趋势外, 新疆绝大部分区域均呈下降趋势。其中, 巴州中南部及阿拉山口、托里等地以 21—48 mm/10a 的速率下降, 趋势最为明显; 阿勒泰、哈巴河、库勒及吐鲁番地区的东南部以 12—21 mm/10a 速率下降, 趋势次之; 伊犁、阿克苏的西部、哈密西南部及喀什等地同样 0—12 mm/10a 速率下降, 下降趋势最不显著。总体上来看, 新疆棉花全生育期需水量递减倾向率空间分布呈现北疆小于南疆、东疆大于西部、由西北向东南方向递增的特征, 和图 2 所示的棉花全生育期需水量空间分布特征一致, 说明棉花需水量大的高值区也是需水量递减趋势最剧烈的区域。

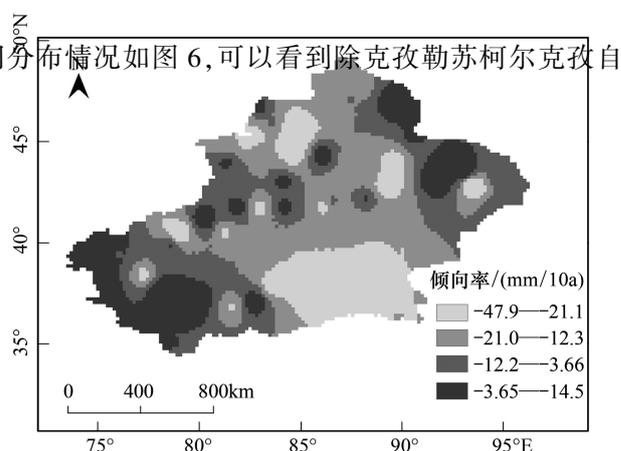


图 6 1963—2012 年新疆棉花全生育期倾向率的空间分布
Fig. 6 Spatial distribution of tendency rate in whole growing period of cotton from 1963 to 2012

3 讨论

新疆地区远离海洋, 深居内陆, 四周有高山阻隔, 湿气不易进入, 形成明显的温带大陆性气候。气温变化较大, 日照时间长, 降水量少, 空气干燥。年平均降水量为 150 mm 左右, 但各地降水量相差很大, 南疆的气温高于北疆, 北疆的降水量高于南疆。

根据作物需水量的计算公式, 可知作物需水量是由作物系数和参考作物蒸散量决定的, 所以棉花需水量与参考作物蒸散量有极强的相关关系。本文利用线性倾向估计和 MK 检验法研究新疆棉花需水量趋势变化, 发现近 50 年新疆棉花需水量整体上呈极显著下降趋势, 于 1981 年开始发生突变, 并且下降趋势明显加剧。新疆棉花需水量呈现减少的趋势, 并在 1981 年发生突变。这与张山清等^[21]得出的近 50 年新疆参考作物蒸散量呈显著减少趋势, 并于 1981 年开始突变减小的结论基本一致。当前正处于全球变暖的时期, 新疆地区气温升高趋势明显, 并呈现由暖干向暖湿转型的特点^[22], 但作物的需水量却呈现下降趋势, 原因是影响作物需水量的最主要气象因素为日照时数和风速, 气温是次要因素^[23]。相关研究^[24]指出 50 年来新疆年日照时数和风速均呈显著下降趋势, 并于 20 世纪 80 年初期发生突变, 与本文棉花需水量变化趋势基本一致。

本文利用的 54 个气象站点数据相对较少, 要想获得更加精确的作物需水量空间分布, 还需增加一些气象站点以获取更广泛的数据。

4 结论

(1) 1963—2012 年, 新疆 54 个气象站棉花全生育期平均需水量为 759 mm, 各站变化范围为 555—1205 mm, 差异明显。其空间分布整体呈现西北向东南递增、南疆大于北疆、东部大于西部的趋势。

(2) 新疆地区 1963—2012 年棉花生长初期全疆平均需水量 50 mm, 范围为 32—73 mm。需水量空间分布差异明显, 总体由北向南增大并呈带状分布; 棉花发育期全疆平均需水量 198 mm, 范围为 118—275 mm。需水量空间分布总体也是由北向南增大并大体呈带状分布; 棉花生长中期, 全疆平均需水量 394 mm, 范围为 278—664 mm。需水量空间分布大体上呈带状并且自西向东增大; 棉花生长末期, 全疆平均需水量 117 mm, 范围为 86—190 mm。需水量空间分布同样表现为由西向东增大的格局。

(3) 新疆近 50 年棉花不同生长阶段需水量总体呈现下降趋势, 并且除了生长中期下降趋势较显著外其他都不太明显。其中, 生长中期下降速率最大、发育期及生长末期下降速率次之、生长初期下降速率最小。

(4) 新疆 1963—2012 年棉花全生育期需水量总体呈下降趋势, 递减速率平均为 5.26 mm/10a, 并在 1981 年

开始发生突变。

(5)1963—2012 年新疆绝大部分区域棉花全育期需水量均呈下降趋势,下降速率总体呈现北疆小于南疆、东疆大于西部、由西北向东南递增的空间分布特征,与棉花全育期需水量空间分布特征一致。

致谢:作者感谢给予本论文转载和引用权的资料、文献、研究思想和设想的所有者。

参考文献 (References):

- [1] 秦大河,陈振林,罗勇,丁一汇,戴晓苏,任贾文,翟盘茂,张小曳,赵宗慈,张德二,高学杰,沈永平. 气候变化科学的最新认知. 气候变化研究进展, 2007, 3(2): 63-73.
- [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. 农业工程学报, 2010, 26(2): 1-6.
- [3] 房军,方小宇,吕东玉,古今用. 丘陵半干旱区作物需水规律的研究进展. 安徽农业科学, 2006, 34(19): 4847-4849.
- [4] 胡志桥,田霄鸿,张久东,包兴国,马忠明. 石羊河流域主要作物的需水量及需水规律的研究. 干旱地区农业研究, 2011, 29(3): 1-6.
- [5] 杨剑,孙小舟. 西辽河流域春玉米需水量变化趋势. 华中师范大学学报, 2010, 44(4): 691-695.
- [6] 李勇,杨晓光,叶清,黄晚华. 1961-2007 年长江中下游地区水稻需水量的变化特征. 农业工程学报, 2011, 27(9): 175-183.
- [7] 尹海霞,张勃,王亚敏,张亚宁,王强,赵一飞. 黑河流域中游地区近 43 年来农作物需水量的变化趋势分析. 资源科学, 2012, 34(3): 409-417.
- [8] 刘玉春,姜红安,李存东,黄鹤,潘增辉,柴春岭. 河北省棉花灌溉需水量与灌溉需求指数分析. 农业工程学报, 2013, 29(19): 98-104.
- [9] 杨琪,张勃,尹海霞,等. 甘肃河东地区近 50 年小麦需水量变化趋势及影响因子. 生态学杂志, 2013, 32(11):3074-3081.
- [10] 刘宏谊,马鹏里,杨兴国,杨启国. 甘肃省主要农作物需水量时空变化特征分析. 干旱地区农业研究, 2005, 23(1): 39-44.
- [11] 闵瑾如,贺菊美,梁红. 北方旱区主要农作物水分供需状况分析. 干旱地区农业研究, 1987, 5(1): 30-41.
- [12] 杨莉,杨德刚,张豫芳,王国刚,唐宏. 新疆棉花种植面积时空格局演变特征及驱动机制研究. 中国沙漠, 2011, 31(2): 476-484.
- [13] Allen R G, Pereira L S, Raes D, et al. Crop Evapotranspiration Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Rome: FAO, 1998.
- [14] 黄敬峰,王秀珍,蔡承侠. 新疆冬小麦物候与气候条件研究. 中国农业气象, 2000, 21(1): 14-19.
- [15] 尹海霞,张勃,王亚敏,张亚宁,王强,赵一飞. 黑河流域中游地区近 43 年来农作物需水量的变化趋势分析. 资源科学, 2012, 34(3): 409-417.
- [16] 王瑶,赵传燕,田风霞,王超. 黑河中游春小麦需水量空间分布. 生态学报, 2011, 31(9): 2374-2382.
- [17] 刘钰, Pereira L S. 对 FAO 推荐的作物系数计算方法的验证. 农业工程学报, 2000, 16(5): 26-30.
- [18] 慕彩芸,马富裕,郑旭荣,程海涛,李进云,张卫国,徐公赦. 北疆春小麦蒸散规律及蒸散量估算研究. 干旱地区农业研究, 2005, 23(4): 53-57.
- [19] 孙兰东,刘德祥. 西北地区热量资源对气候变化的响应特征. 干旱气象, 2008, 26(1): 8-12.
- [20] 刘钰,汪林,倪广恒,丛振涛. 中国主要作物灌溉需水量空间分布特征. 农业工程学报, 2009, 25(12): 6-12.
- [21] 张山清,普宗朝. 新疆参考作物蒸散量时空变化分析. 农业工程学报, 2011, 27(5): 73-79.
- [22] 施雅风,沈永平,李栋梁,张国威,丁永建,胡汝骥,康尔泗. 中国西北气候由暖干向暖湿转型的特征和趋势探讨. 第四纪研究, 2003, 23(2): 152-164.
- [23] 刘晓英,李玉中,郝卫平. 华北主要作物需水量近 50 年变化趋势及原因. 农业工程学报, 2005, 21(10): 155-159.
- [24] 黄小燕,张明军,王圣杰,辛宏,贺晋云. 西北地区近 50 年日照时数和风速变化特征. 自然资源学报, 2011, 26(5): 825-835.