

气候与土地利用变化对于田绿洲农业耗水特征的影响

杜梦迪^{1,2}, 李兰⁴, 罗光明⁵, 董克鹏⁵, 师庆东^{1,2,3}

(1. 新疆大学 资源与环境科学学院, 新疆 乌鲁木齐 830046; 2. 新疆绿洲生态重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830046; 3. 新疆大学 干旱生态环境研究所, 新疆 乌鲁木齐 830046; 4. 新疆兴农网信息中心(新疆农业气象台), 新疆 乌鲁木齐 830002; 5. 新疆和田水文水资源勘测局, 新疆 和田 848000)

摘要: [目的] 分析西北干旱区农业耗水的变化情况以及对其产生的影响, 以期为于田绿洲未来发展提供指导。[方法] 利用新疆维吾尔自治区于田县 1980—2018 年的气象数据及 1990 和 2018 年土地利用/覆盖数据, 分析得出于田绿洲的耗水特征。[结果] ① 研究区的气候变化总体呈现出明显暖湿的趋势; 土地利用/覆盖变化主要表现在绿洲耕地面积的增加, 而水域面积则呈现减少趋势; ② 于田绿洲克里雅河径流量呈现显著上升趋势, 年平均径流较之前增加了 $6.00 \times 10^8 \text{ m}^3$, 绿洲农业绿水耗水量也呈现增加趋势, 较 2000 年增加了 $1.78 \times 10^9 \text{ m}^3$ 。[结论] 气温的增加造成绿洲作物蒸散增多, 耕地面积的增加更是加剧了耗水情况, 这使得于田绿洲的绿水耗水总量表现出逐年增加的趋势。

关键词: 气候; 土地利用变化(LUCC); 耗水分析; 干旱区; 绿洲

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2020)03-0103-07

中图分类号: S151+.23, U412.1+4

文献参数: 杜梦迪, 李兰, 罗光明, 等. 气候与土地利用变化对于田绿洲农业耗水特征的影响[J]. 水土保持通报, 2020, 40(3): 103-109. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2020.03.015; Du Mengdi, Li Lan, Luo Guangming, et al. Effects of climate and land use change on agricultural water consumption in Yutian oasis [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020, 40(3): 103-109.

Effects of Climate and Land Use Change on Agricultural Water Consumption in Yutian Oasis

Du Mengdi^{1,2}, Li Lan⁴, Luo Guangming⁵, Dong Kepeng⁵, Shi Qingdong^{1,2,3}

(1. College of Resources and Environment Science, Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang 830046, China; 2. Key Laboratory of Xinjiang Oasis Ecology and Ecological Research, Urumqi, Xinjiang 830046, China; 3. Institute of Arid and Semiarid Ecology and Environment, Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang 830046, China; 4. Xinjiang Xingnong Net Information Center: Xinjiang Agro-meteorological Observatory, Urumqi, Xinjiang, 830002, China; 5. Xinjiang Hotan Hydrological and Water Resources Survey Bureau, Hetan, Xinjiang 848000, China)

Abstract: [Objective] The change of agricultural water consumption in the northwest arid region of China and its influence were analyzed to provide guidance for the future development of the Yutian oasis. [Methods] Using the meteorological data from 1980 through 2018 and the land-use/cover data from 1990 and 2018 in the Yutian County, Xinjiang Wei Autonomous Region, the water consumption characteristics of the Yutian oasis were analyzed. [Results] ① The climate change in the study area showed a clear warming and humidity trend. The land-use/cover change was mainly manifested in the increase of the cultivated land area of the oasis, whereas the water area showed a decreasing trend. ② The runoff of the Keriya River showed a significant upward trend in the Yutian oasis, with an annual average flow that was $6.00 \times 10^8 \text{ m}^3$ higher than before, and the water consumption of agricultural green water also showed an increasing trend. It was $1.78 \times 10^9 \text{ m}^3$ higher than that in 2000. [Conclusion] The increase of temperature resulted in an increase of crop evapotranspiration, and the increase of cultivated land area aggravated the water consumption, causing the total water consumption of

收稿日期: 2019-12-29

修回日期: 2020-03-26

资助项目: 国家自然科学基金项目“地表水、浅层地下水对沙漠腹地天然绿洲植被格局影响机制研究”(U1703237)。

第一作者: 杜梦迪(1994—), 女(汉族), 河南省鲁山县, 硕士研究生, 研究方向为环境演变与环境修复。Email: 2226437927@qq.com。

通讯作者: 师庆东(1964—), 男(汉族), 山东省武城市, 教授, 博士生导师, 主要从事景观生态学与环境修复方面研究。Email: 363735945@qq.com。

Yutian oasis to increase annually.

Keywords: climate; land use and cover change(LUCC); water consumption analysis; arid area; oasis

绿洲是西北边疆居民赖以生存的地方,也是政治、经济、文化等活动的重要场所,绿洲的兴衰直接影响着一个地区的发展^[1-2]。维系绿洲生存的水资源主要来源于山区河道,其中部分水资源直接通过蒸发消耗,一部分水资源下渗后汇入地下水,能够利用的水资源相对较少^[3]。随着于田绿洲的经济迅猛发展,也造成了许多矛盾的产生。例如不合理的开发,垦荒造成了林地草地面积迅速减少,土地盐渍化,荒漠化加剧。而绿洲的耗水分析则能够直接揭示水资源利用的本质^[4]。气候和土地利用/覆盖变化通过影响地表蒸发、大气降水、下渗等方式直接或间接的影响该地区水资源储备量^[5-8]。

目前,学者们多利用气候变化来分析农业耗水,如缪启龙等^[9]利用气候数据为基础建立了长江三角洲的农业耗水的物理模型,结果表明未来该区域气温升高,农业耗水量呈现增加趋势。证明了气候的变化会直接影响到农业的耗水。孙悦等^[10],胡珊珊等^[11],郭军庭等^[12]利用气候和土地利用变化来分析流域径流量,其分别分析了渭河,白洋淀和潮河的径流变化,并分析了径流变化对当地环境的影响。土地利用的改变也直接影响到当地农业的耗水量,耕地的变化,以及土地管理的改变都将直接影响到农业耗水量的改变。结合气候变化和土地利用变化来分析农业耗水研究相对较少,因此本文以于田绿洲及境内的克里雅河为例,以该地区气候及土地利用变化为对象,分析该地区农业耗水的变化情况以及对其产生的影响,以期为于田绿洲未来发展及推动其社会发展提供指导。

1 研究区概况

新疆维吾尔自治区于田县坐落于昆仑山北部,塔里木盆地南部。该地区多年平均气温 9.53℃,极端最高温 43℃,多年平均蒸发量为 1 708.49 mm,多年平均降水量为 55.87 mm。年平均水资源总量为 $4.20 \times 10^9 \text{ m}^3$,可利用的水资源总量占年平均水资源总量的 32.4%,其中河流水总量占 20%,地下水总量占 12.4%^[13]。蒸发量大,水资源有限导致于田县内植被覆盖率低,生态环境十分脆弱。

2 数据来源及研究方法

2.1 数据来源

本文研究所用数据主要包括:①气象数据为于田县国家地面气象台站 1980—2018 年逐日数据集,

主要气象数据包括平均风速、日照时数、相对湿度、降水量以及蒸发量等;②研究区内河流 1957—2014 年水文数据来源于和田水文水资源勘测局;③全国行政区划图来源于资源环境数据云平台(<http://www.resdc.cn/>);④CropWat 模型计算所需的土壤和作物相关参数来自国际粮农组织(FAO)的 CROP 数据库;⑤1990 年和 2018 年的 Landsat 土地利用数据来源于地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>)。

2.2 研究方法

Penman-Monteith 公式。ET₀ 代表参考作物的日需水量,其主要是针对气象因素对作物耗水量的影响。联合国粮农组织(FAO)推荐的修正的标准彭曼公式为^[14]:

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

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273}(e_a - e_d)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (2)$$

式中:ET_c 为作物土壤蒸发量(mm/d);ET₀ 为参照蒸发量(mm/d);k_c 为作物系数。R_n 为作物表面的净辐射量(MJ/m);G 为土壤热流量(MJ/m);T 为平均气温(℃);U₂ 为离地面两米处风速(m/s);e_a 为饱和状态下的水气压(kPa);e_d 为实际水气压(kPa);Δ 为蒸气压力曲线斜率(kPa/℃);γ 为干湿湿度常数(kPa/℃)。

3 结果与分析

3.1 于田绿洲气候变化特征

本文采用了研究区内于田气象站 1980—2018 年的逐日气象数据集,以气温、降水量、日照时数、风速、相对湿度和 20 cm 蒸发皿测量的蒸发量等气象要素作为研究对象并进行分析。得到了年平均温度、年降水量、年蒸发量和年均日照时数、年均风速和年均相对湿度在时间序列上的变化趋势,以此来分析气候要素变化对绿洲耗水变化特征可能造成的影响。详见图 1。

由图 1a 可知年均气温的变化特征。研究区的年平均气温自 1980 年至 2018 年总体呈现上升趋势。2016 年时年均气温达到最大值 13.3℃。在分析的 38 a 中,年平均气温正负距平出现的分别为 16 和 22,出现的频率基本相当。其中负距平主要出现在 1983—1997 年之间,而正距平在近年内出现频率较高,自 1996 年以后的 22 a 间,仅有 2012 年的年平均气温为负距平。

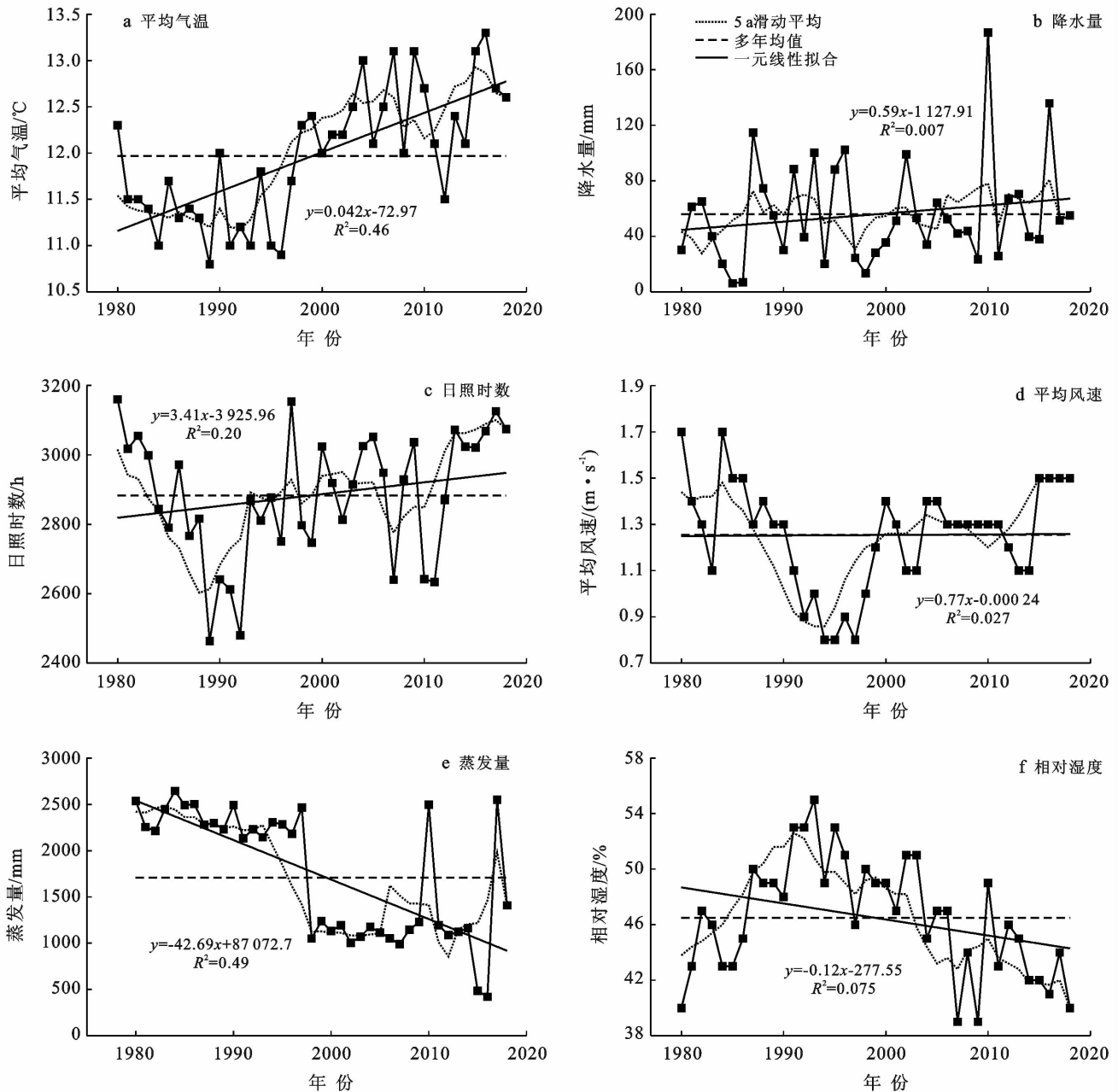


图1 1980—2018年于田绿洲各气象要素变化特征

由图1b可知年均降水量的变化特征。由于研究区位于塔克拉玛干沙漠腹地,总体降水量小。年均降水量仅为55.9 mm。近38 a中年均降水总体呈现增加趋势,2010年降水量达到峰值153.9 mm。

由图1c可以看出年均日照时数的变化特征。由于地理因素,常年日照充足,其年平均日照时数2884 h。最高值为1980年的3160 h,最低值出现1989年为2463 h。在20世纪80年研究区内的日照时数总体呈现下降趋势,从2010年才开始呈现上升趋势,2011年之后增势更为明显。

由图1d可知年均风速的变化特征。在这38 a中研究区内年平均风速数值总体较低且年均风速变化

幅度很小,年均风速仅有1.25 m/s。在2000年以前,风速变化幅度较大,到了近几年变化幅度很小,甚至出现了连续几年没有变化的情况。

由图1e可知年蒸发量的变化特征。数据表明该地区年平均蒸发量总体呈现显著的下降趋势。在进入21世纪以前年均蒸发量均高于平均值,在1994年发生突变,年均蒸发量下降了214 mm,且在此之后负距平出现频率较高,在1994—2018年的24 a间,负距平就出现了21次,出现频率达87.5%以上。

由图1f可知年均相对湿度的变化特征。研究区年均相对湿度为46.5%。最高值出现在20世纪末期为55.0%,最低值出现在16 a以后的2009年(39.0%)。

1980—1990 年的 38 a 中研究区的年均相对湿度整体呈现下降趋势。1987—2005 年的 18 a 中,年均相对湿度总体高于平均值,在 2005 年以后则总体低于平均值。

由表 1 可知,于田绿洲各气候要素年代际变化。特征具体为:总体变化趋势表现为气温,降水和日照时数均呈增长态势,年蒸发量和相对湿度则呈降低的趋势,风速变化幅度较小,基本保持不变,其变化趋势与年际变化一致。就各要素来看,20 世纪 80 年代的年平均气温在各年代际中最低,只有 11.42 °C,低于多年平均值 11.96 °C,90 年代以后气温逐渐呈升高

趋势;降水呈波动性增加,2011—2018 年间为最高值,年降水量达到 74.52 mm,远远高于多年均值 55.87 mm;年日照时数变化与降水相似也呈现波动趋势增加,其中最低值为 20 世纪 90 年代,仅有 2 773 h,最高值为 2011—2018 年间的 2 948.08 h;平均风速总体变化不大,在 80 年代达到最大值 1.42 m/s,其后 10 a 里风速减小,仅有 0.98 m/s,已接近历年最小值;年蒸发量呈波动状,90 年代蒸发量达到最大值 2 390.47 mm,在 2001—2010 年间仅为 1 110.66 mm,远远低于年平均值 1 708.49 mm;年均相对湿度总体呈现下降趋势,在 2011—2018 年间最低值为 43.56%。

表 1 于田绿洲气候要素年代际变化

年份	平均气温/ °C	年均降水量/ mm	年均日照时数/ h	年均风速/ (m·s ⁻¹)	年蒸发量/ mm	年均相对 湿度/%
1981—1990	11.42	47.42	2 888.41	1.42	2 390.47	45.50
1991—2000	11.53	53.49	2 773.78	0.98	2 052.36	50.70
2001—2010	12.47	49.92	2 930.36	1.29	1 110.66	45.90
2011—2018	12.50	74.52	2 948.08	1.33	1 325.49	43.56

研究区内气候的改变,对该地区农业耗水产生了一定的影响。降水的变化直接影响到当地水资源的储量和分配。便随着气温升高,导致的蒸发量,相对湿度等一系列变化,影响了农业生产时的水资源利用。由于干旱区脆弱的生态环境,也导致了气候变化对于农业水资源的利用会产生更多的影响。

3.2 土地利用/覆盖特征分析

对干旱区而言,绿洲的水资源是制约经济发展的重要因素,它能够直接影响到土地的分配及使用。反

之,土地利用变化也必然造成绿洲水资源的重新分配^[15-17]。因此绿洲土地利用/覆盖变化也必将直接影响到绿洲的水资源消耗。如附图 5(见封 2)所示,根据于田绿洲土地利用变化特征和实际情况,将研究区土地利用分为 6 种类型,分别为耕地、林地、草地等 6 大类,以于田县 1990 年的 TM 遥感影像和 2018 年的 Landsat OLI 遥感影像为数据源,通过监督分类得到 2 个时期的土地利用/覆盖分类图,其 kappa 系数分别为 0.84 和 0.86,总精度均达到 87%以上,达到分类要求(见表 2)。

表 2 1990 和 2018 年于田绿洲土地利用/覆盖分类面积与比例

土地利用 类型	面积/hm ²			比例/%		
	1990 年	2018 年	1990—2018 年	1990 年	2018 年	1990—2018 年
耕地	24 749.31	39 822.84	15 073.53	12.48	20.08	38.61
林地	616.65	1 381.32	764.67	0.31	0.70	1.96
草地	64 176.22	45 338.03	-18 838.19	32.35	22.86	-48.26
水域	4 607.2	3 926.82	-680.38	2.32	1.98	-1.74
建设用地	3 595.64	4 478.40	882.76	1.81	2.26	2.26
未利用地	100 621.01	103 418.61	2 797.60	50.72	52.14	7.17
总计	198 366.03	198 366.03	39 037.12	100	100	0

由表 2 和附图 5(见封 2)可知,研究区内的 75% 的土地利用/覆盖面积是未利用地和草地,28 a 间该地的土地利用/覆盖的大小和空间分布上都发生了不同程度的改变。1990—2018 年间,研究区内的耕地、林地、建设用地、未利用地都表现出增加的趋势,而草地和水域则呈现明显减少,具体表现在:①耕地,其面积

改变是 6 类变化中最大的,由 1990 年的 24 749.31 hm² 增加到 2018 年的 39 822.84 hm²,面积增长了近 61.0%,且新增耕地主要位于原有耕地外围及河道周围水资源较为丰富的地区;②林地,其面积由 1990 年 616.65 hm² 增加到 2018 年的 1381.32 hm²,其变化面积增长一倍以上,只是由于当地政府大力提倡植树

造林、推行退耕还林还草政策等政策使得林地面积大幅度提高;③草地,草地总面积总体呈现减少趋势,主要是由于研究区内耕地面积和城市居民用地的增加所导致,直接造成草地面积减少占到总面积的 9.49%,其改变量是所有类型中最大的,达到 48.26%;④水域面积总体也呈现了减少的趋势,比较 1990 年水域面积 4 607.2 hm²,2018 年水域面积共减少了 60.0%以上,这是耕地面积的增加造成研究区内农业耗水量的增加所导致的;⑤城镇建设用地总体面积呈现增加状态,相较于 1990 年的 3 595.64 hm²,2018 年其面积增长了 882.76 hm²,而建设用地的增加也意味着城镇建设的进展加速,对于小城镇的发展起到了促进的作用;⑥未利用地的面积总体呈现增加状态,是由于减少的一部分草地转化成为未利用地。变化面积占总变化面积的 7.17%,仅次于耕地。

于田县是以种植棉花、小麦等作物为支柱产业的农业县。绿洲耕地面积的增加直接导致该地区农业水资源用量的改变。从全流域角度看,水资源的分配受到中游绿洲区农业耗水的直接影响,其用水量的增加使得中下游径流量减少甚至断流,引起中下游地区用水紧张。因此,土地利用的改变直接对该地区水资源的储量和分配产生巨大的影响,并将直接改变该地区水资源效应的转变。

3.3 于田绿洲耗水特征分析

3.3.1 于田绿洲的耗水组成 于田绿洲是一个典型脆弱的荒漠绿洲,山区是其径流产生的主要区域,平原绿洲则是水资源消耗的主要区域,而荒漠是水资源的最终耗散区^[18]。水资源的消耗主要在于区域内工农业生产和生态需水,包含各类用地的蒸发以及生活用水等各种消耗。1990 年 Falkenmark 等^[19]首次提出了绿水和蓝水的概念,绿水是指由降水直接形成储存在未饱和的土壤中并能够为植物所直接利用的水资源,蓝水则是指传统意义上的水资源,即河流、湖泊、水库、池塘及蓄水层中的水。因此,本文将利用蓝水和绿水的概念来分析于田绿洲的耗水变化特征。

3.3.2 蓝水耗水分析 于田绿洲农业水资源利用方式主要是以灌溉为主,其水资源主要来源于克里雅河。克里雅河流域上游山区由于地形原因,山区内部无农田分布,且人类活动稀少,因此将山区径流量视为自然径流量。径流流经出山口后进入山前平原,于田绿洲内大部分的农田和人类活动都集中在在这个区域,所以这片区域也是该地区的主要耗水区域。鉴于克里雅河最终消散在沙漠腹地,可以认为其出山口的径流量为该地区蓝水耗水总量。由于地下水难以测算,本文将直接以克里雅河的地面径流的消耗量来表

示于田绿洲的蓝水消耗量。选取克里雅河流域的兰干水文站 1957—2015 年逐月径流量数据。鉴于于田绿洲的年均气温逐渐升高,因此山区内的积雪与冰川加速融化,降水量变化不明显但依旧呈现出逐年增加趋势,从而使得以山区融水为主要水源的克里雅河径流量增势明显。克里雅河出山口水文站 1956—2015 年年径流量变化特征见图 2。

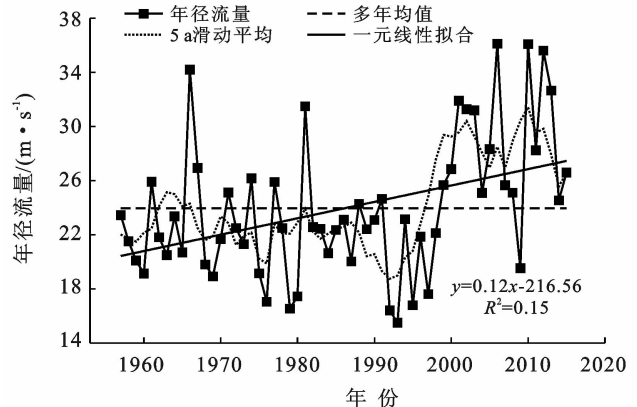


图 2 1957—2015 年克里雅河径流量变化趋势

由图 2 可以看出,1957—2015 年近 59 a 来,克里雅河的年径流量均呈显著增加的趋势。1960—1980 年间总体径流量变化幅度较小,而进入 80 年代后期直至 90 年代前期整体径流量呈现下降趋势,10 a 平均径流量下降了 $2.18 \times 10^8 \text{ m}^3$;1992—2015 年的 24 a 间,总体呈现上升趋势,在 2000 年以前增势尤为明显,径流量的最大值为 2010 年的 $3.14 \times 10^9 \text{ m}^3$ 。

克里雅河径流自出山口流出后,河水被分流进入各个河渠灌区,绿洲耕地面积的变化和灌溉引水将影响到河流的水文过程。因近年来绿洲耕地面积增加,使得河流径流量在经过绿洲后水量也大幅减少。于田绿洲主要以农业生产为主,工业生产规模很小,因此于田绿洲农业生产耗水总值为其蓝水耗水总量。

3.3.3 绿水耗水分析 绿水流和绿水储量是绿水的两个部分,其中绿水流是指实际的蒸散发,绿水储量指土壤中的水量。将作物耗水量乘以相应作物种植面积,可得到该作物的绿水总耗水量。绿水耗水量并不代表实际耗水量,仅反映正常生长环境下作物生长需耗散的绿水量^[20-22]。

根据 Penman-Monteith 公式,计算 2000—2015 年间作物绿水耗水量 ET_0 。因研究区农作物种植以棉花、小麦、玉米为主,为计算作物耗水量时方便选用合理的作物系数,假定研究区内的农作物为棉花、小麦和玉米,根据公式计算区域绿水的耗水总量。图 3 为于田绿洲主要农作物生长季耗水量逐年变化特征。

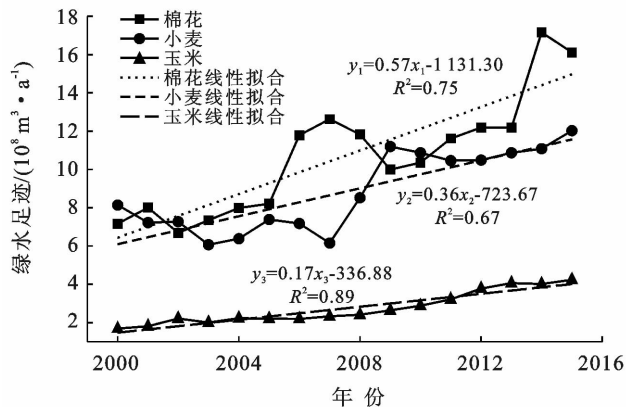


图 3 于田绿洲主要农作物生长季绿水耗水量逐年变化特征

从图 3 中可以看出,不同农作物之间绿水耗水量有着较大的差异。研究区内绿水耗水量最大的作物为棉花,其多年生长季平均绿水耗水量为 108 mm,是小麦(88.3 mm)的 1.22 倍,而玉米的生长季绿水耗水量则为 27.4 mm,仅为棉花耗水量的 25.4%。由于气候的变化及耕地面积的增加,研究区各农作物的绿水耗水量均有不同程度的增长。其中,棉花是生长季耗水量增长幅度最大的作物,这是由于棉花是一种高耗水的作物同时也是该地区最主要的经济作物。

通过计算出的于田县主要农产品作物耗水量并乘以其相应作物种植面积,即可得到于田县主要农产品的绿水总耗水量(见图 4)。

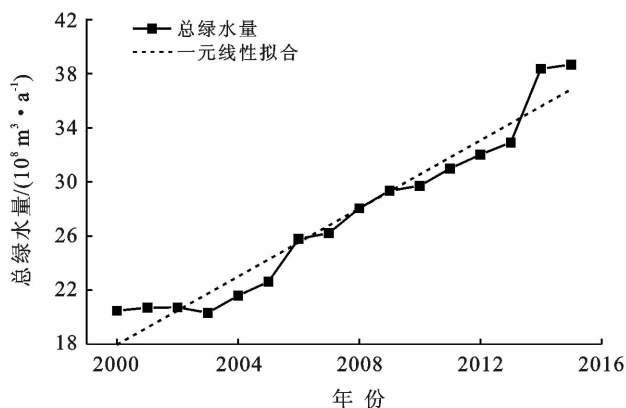


图 4 2000—2015 年于田绿洲绿水耗水总量变化趋势

由图 4 可以看出,作物绿水总量上升幅度明显,由 2000 年的 $2.05 \times 10^9 \text{ m}^3$ 上升至 2015 年的 $3.87 \times 10^9 \text{ m}^3$,15 a 间增长了 $1.82 \times 10^9 \text{ m}^3$,主要表现为 2003 年以后总绿水量增势十分显著。2000 年棉花的绿水耗水量为 $7.17 \times 10^8 \text{ m}^3$,占研究区 2000 年总绿水耗水量的 35.00%,2015 年棉花的绿水耗水量为 $1.61 \times 10^9 \text{ m}^3$,占研究区总绿水耗水量的 41.67%;2000 年小麦的绿水耗水量为 $8.14 \times 10^8 \text{ m}^3$,占研究区 2000 年总绿水耗水量的 39.74%,2015 年棉花的

绿水耗水量为 $1.20 \times 10^9 \text{ m}^3$,占研究区总绿水耗水量的 31.08%。数据表明研究区内棉花和小麦为主要经济作物,棉花和小麦的种植面积也呈现增加的趋势,这是导致研究区绿水含量增加的主要原因。

4 讨论与结论

4.1 讨论

本文主要从气候变化和土地利用/覆盖变化两个方面来分析于田县主要农作物耗水情况。通过分析研究区气候变化,可以得知其是影响绿洲水资源利用的重要因素之一。研究区内各气象要素均发生了不同的变化,包括气温升高、降水增多、日照减少等。总体表明为研究区内气候朝着暖湿方向发展,使得克里雅河的径流量增加,这直接影响到地区水资源分布和管理,为绿洲区大力发展和扩大规模提供了基本水源保证。同时也使得作物蒸散量发生了改变,这将直接影响到水资源的消耗和利用。

通过分析研究区土地利用/覆盖变化,可以得知其是影响绿洲水资源利用的重要因素。研究区土地利用/覆盖变化显著,变化程度最大的是耕地,较 1990 年的耕地面积,至 2018 年面积共增长了近 15 073.53 hm^2 。于田绿洲是以农业经济为主体的农业县,该地区灌溉是以地表水为主,耕地面积的增加直接影响到该地区的农业用水量的增长,从而使得在径流量增加的前提下,地区水域面积还是呈现减少的趋势。综上所述可知,绿洲耕地面积的增加是于田绿洲耗水量增加最主要的原因。

气候变化的影响下,气温升高使得冰川融雪增加,从而导致地表径流量增加,同时使得作物蒸散量增加,需水量增加。于田县内农业灌溉主要依赖于地表水,其耕地面积的增加使得灌溉需水量增加,直接导致作物的绿水总耗水量增加。

4.2 结论

本文选取于田县及其境内的克里雅河流域作为研究对象,以于田绿洲近 38 a 气候变化以及 1990 和 2018 年土地利用/覆盖变化为主线,对研究区的主要作物耗水进行了分析,并得出以下结论:

(1) 近 38 a 来,于田绿洲平均气温、年均降水量以及日照时数呈现明显的上升趋势,其中平均气温上升幅度最大;年蒸发量和相对湿度则呈减少趋势,风速则维持基本不变。研究区内气候变化朝暖湿不断变化,克里雅河流域径流量增长。

(2) 近 28 a 内,随着经济的发展和人口的增加,为了保障人们正常的生活需求,农田的开发是必不可少的。于田绿洲整体耕地面积共增加 15 073.53 hm^2 ;

耕地面积的增加直接导致了农业用水的增加,使得其水域总面积共减少 3 926.82 hm²;同时为了加快城市的建设,建设用地的面积也呈现出增加趋势;水域,草地的减少和荒漠的增加对其区域内的生态环境有着负面的影响;

(3) 气温增加造成绿洲作物蒸散增多,作物需水大幅增加,耕地面积增加加剧了耗水,于田绿洲的绿水耗水总量表现出逐年增加的趋势。

[参 考 文 献]

- [1] 雷志栋,杨汉波,倪广恒,等. 干旱区绿洲耗水分析[J]. 水利水电技术,2006,37(1):15-20.
- [2] 师庆东,郭玉川,周小龙,等. 塔克拉玛干沙漠克里雅河尾间达理雅博依绿洲地表水、地下水对植被格局的影响机制[J]. 新疆大学学报(自然科学版),2019,36(3):253-259,286.
- [3] 黄聿刚,丛振涛,雷志栋,等. 新疆麦盖提绿洲水资源利用与耗水分析:绿洲耗散型水文模型的应用[J]. 水利学报,2005,36(9):1062-1066.
- [4] 田伟,李新,程国栋,等. 基于地下水陆面过程耦合模型的黑河干流中游耗水分析[J]. 冰川冻土,2012,34(3):668-679.
- [5] Yang Linshan, Feng Qi, Yin Zhenliang, et al. Identifying separate impacts of climate and land use/cover change on hydrological processes in upper stream of Heihe River, Northwest China [J]. Hydrological Processes, 2017,31(5):1100-1112.
- [6] Guo Jing, Su Xiaoling, Singh V, et al. Impacts of climate and land use/cover change on streamflow using SWAT and a separation method for the Xiying river basin in Northwestern China [J]. Water, 2016,8(5):192.
- [7] 祖拜代·木依布拉,师庆东,普拉提·莫合塔尔,等. 基于 SWAT 模型的乌鲁木齐河上游土地利用和气候变化对径流的影响[J]. 生态学报,2018,38(14):5149-5157.
- [8] 黄秀艳,师庆东. 新疆于田绿洲 2015 年农业景观要素水足迹计算[J]. 节水灌溉,2018(6):111-115.
- [9] 缪启龙,张永勤,金龙,等. 长江三角洲农业耗水的气候变化影响研究[J]. 南京气象学院学报,1999,22(S1):518-522.
- [10] 孙悦,李栋梁,朱拥军. 渭河径流变化及其对气候变化与人类活动的响应研究进展[J]. 干旱气象,2013,31(2):396-405.
- [11] 胡珊珊,郑红星,刘昌明,等. 气候变化和人类活动对白洋淀上游水源区径流的影响[J]. 地理学报,2012,67(1):62-70.
- [12] 郭军庭,张志强,王盛萍,等. 应用 SWAT 模型研究潮河流域土地利用和气候变化对径流的影响[J]. 生态学报,2014,34(6):1559-1567.
- [13] 张淑霞. 于田绿洲地表蒸散发与土壤水盐关系研究[D]. 乌鲁木齐:新疆大学,2018.
- [14] Hoekstra A Y, Chapagain A K. The water footprints of Morocco and the Netherlands: Global water use as a result of domestic consumption of agricultural commodities [J]. Ecological Economics, 2007,64(1):143-151.
- [15] 彭望球. 遥感概论[M]. 北京:高等教育出版社,2002.
- [16] 郑明国,秦明周,胡巍巍. 先验概率对最大似然法提取土地利用现状信息精度的影响[J]. 资源科学,2004,26(2):94-99.
- [17] Kohonen T. An introduction to neural computing [J]. Neural Networks,1998(1):3-16.
- [18] 段峥嵘,祖拜代·木依布拉,夏建新,等. 气候及土地类型变化条件下阿克苏绿洲耗水特征演变[J]. 应用基础与工程科学学报,2018,26(6):1203-1216.
- [19] Falkenmark M, Mikulski Z. The key role of water in the landscape system: Conceptualization to address growing human landscape pressures [J]. GeoJournal, 1994,33(4):355-363.
- [20] 熊莹,吕孙云,梅亚东,等. 考虑蓝、绿水区别的水权界定研究[J]. 人民长江,2010,41(1):6-10.
- [21] 荣琨,陈兴伟,李志远,等. 晋江西流域绿水蓝水资源量估算及分析[J]. 水土保持通报,2011,31(4):12-15.
- [22] 张飞,郭玉川,姜红涛,等. 气候和土地利用/覆盖变化对渭干河—库车河三角洲绿洲水资源的影响[J]. 湖北农业科学,2014,53(23):5716-5723.