

干旱区新疆农业节水 技术理论研究



周和平 姚新华 陈跃滨 李 冰 著

中国农业科学技术出版社

5219.245

干旱区新疆农业节水 技术理论研究

周和平 姚新华 陈跃滨 李 冰 著

中国农业科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

干旱区新疆农业节水技术理论研究 / 周和平等著. —北京: 中国农业科学技术出版社, 2014. 5

ISBN 978 - 7 - 5116 - 1619 - 7

I. ①干… II. ①周… III. ①干旱区 - 农业工程 - 节约用水 - 研究 - 新疆 IV. ①S279. 245

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 075884 号

责任编辑 姚 欢

责任校对 贾晓红

出 版 者 中国农业科学技术出版社
北京市中关村南大街 12 号 邮编: 100081

电 话 (010)82106636 (编辑室) (010)82109702 (发行部)
(010)82109709 (读者服务部)

传 真 (010)82106636

网 址 <http://www.castp.cn>

经 销 者 各地新华书店

印 刷 者 北京富泰印刷有限责任公司

开 本 787 mm × 1 092 mm 1/16

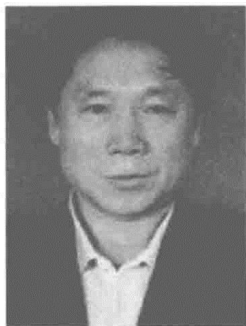
印 张 23

字 数 530 千字

版 次 2014 年 5 月第 1 版 2014 年 5 月第 1 次印刷

定 价 90.00 元

作者简介



周和平，男，1958 年出生；中共党员，教授级高级工程师；新疆水利学会、坎尔井学会会员；水利部“5151”人才工程入选者；国家自然科学基金项目同行评审，《水利学报》审稿人。

先后从事土壤农化、农业区划、农田水利、节水灌溉、水利科研等工作 30 余年。参加和主持十余项国家、省部级科研项目；率先在新疆维吾尔自治区（以下简称“新疆”）大面积引入波涌灌示范和开展灌区管理信息化及量水技术研究；在国内首创节水降耗提升水温“蓄流灌溉”效应理论、“定向迁移地表排盐”新模式。曾获省部级科技成果奖 5 项、优秀论文奖 6 项；获国家专利 7 项。

发表论文 70 余篇，出版专著 7 部：《新疆灌溉管理技术》（新疆科学技术出版社，2005）；《水权概论与节水技术研究》（新疆科学技术出版社，2006）；《新疆灌区供水到户研究与推广》（新疆科学技术出版社，2007）；《蓄流分离式灌溉技术理论与实践》（中国水利水电出版社，2008）；《中国水问题面面观》（中国农业科学技术出版社，2008）；《新疆农业用水定额技术研究应用》（中国农业科学技术出版社，2012）；《干旱区新疆农业节水技术理论研究》（中国农业科学技术出版社，2014）。

主要研究方向：节水灌溉、水管理技术、农田排盐新方法等。

内容简介

本书是一部关于干旱区绿洲灌溉技术理论与实践专著，以干旱内陆新疆农业灌溉为研究背景，全书秉持技术理论研究服务于实践应用的基本思想，从技术理论与试验、灌溉水管理研究、节水灌溉新探索、量水新技术研究、盐碱改良新方法、灌区信息化研究方面，对新疆绿洲灌溉农业技术进行了研究探索。研究成果具有较强的针对性和实用性，可为新疆乃至西北内陆干旱区灌溉问题研究应用，提供借鉴和参考。

本书可供大专院校和科研单位相关专业科研、教学，以及水利、农业等相关单位从事灌溉工程及管理人员参考。

前 言

新疆地处我国西部内陆区，由于极端干旱少雨和脆弱的地理生态环境，形成了我国典型的“荒漠绿洲、灌溉农业”格局，水利灌溉对于新疆国民经济、生态建设和可持续发展具有极其重要的地位和作用。

几十年来，新疆灌溉技术工作者，从灌溉技术研究、灌溉水资源利用保护、高效节水灌溉研究推广、创新灌溉管理机制等方面进行了不懈的努力，取得了一系列研究成果，推进了新疆灌溉农业发展。本书内容是灌溉研究成果的一个缩写，诠释了作者长期致力于灌溉管理、技术研究、科研实践活动的思考和探索。

本书主要从技术理论与试验；灌溉水管理研究；节水灌溉新探索；量水新技术研究；盐碱改良新方法；灌区信息化研究等方面介绍了研究成果。该书内容主要体现在以下层面。

1. 基于灌溉技术理论和试验研究，探索作物灌溉的3个基本原理，研究分析干旱灌区灌溉水、降水、地下潜水利用效应，以及灌溉用水新技术试验研究。

2. 在研究现有灌溉技术理论和方法的基础上，探索创新思路和方法，提出蓄流分离式灌溉技术理论与灌溉模式，探索研究解决井灌区果树灌溉节水增产，节能降耗，水量自控，提升灌溉水温的技术难题。

3. 基于干旱内陆区水生态阈值的可供水总量探讨；农业节水灌溉现状效应、发展规模系统优化与决策；基于经济用水结构新格局的农业用水总量零、负增长条件下，灌区节水潜力、灌溉定额指标与水利用效率管理、灌区“供水到户”管理创新模式分析。

4. 拓展量测水和农田灌溉输水工程新技术和方法研究，提出灌溉渠道断面测水简易快速方法；基于灌区节水管理的孔口闸门设计和试验研究；塑材明渠工程技术研究。

5. 在深入研究国内外盐碱地治理方法基础上,对现有土壤水盐运移理论进行补充、完善,基于内陆干旱灌区微灌条件,创新提出“农田土壤水盐定向迁移”和“土壤盐分上移地表排”技术理论模式试验研究,为土壤盐分调控寻求新的研究治理方向,拓展丰富干旱区盐碱地改良技术。

6. 灌区信息化管理研究成果在水管理中的应用,包括水利管理办公系统软件开发应用、灌区信息化平台的设计与实现等。为探索建立灌区水管理信息技术应用开发提供技术支持。

本书由国家自然科学基金项目(51079162)资助出版,编写过程中得到了一些专家的热情关心和指导,特此致谢。

著 者

2013年11月于乌鲁木齐

目 录

第一章 技术理论与试验	(1)
新疆地区作物耗水时空多样性特征分析	(3)
作物灌溉三原理试探	(11)
新疆农业灌溉边际效应分析	(13)
干旱灌区有效降水量利用率研究	(19)
农业灌区地下潜水利用分析	(27)
新疆灌溉试验若干问题探讨	(35)
喷灌大区试验设计若干问题	(39)
100PS-1 型喷灌设施装置的田间试验	(43)
柯布一道格拉斯模型在喷灌经营管理中的应用	(46)
甜菜喷灌节水高效技术研究	(50)
喷灌区作物结构优化	(56)
管流灌溉节水新技术的初步研究	(60)
管流灌溉技术实践与效益	(63)
地面节水灌溉新技术——波涌灌溉综述	(66)
波涌灌溉节水增产效果分析	(71)
自流蓄灌节水新技术初步研究	(75)
蓄流灌溉技术节水节能机理研究	(83)
蓄流灌溉技术试验分析	(91)
基于蓄流灌方式低水头灌溉均匀问题研究	(98)
基于蓄流灌水器的灌溉水温研究	(107)
第二章 灌溉水管理研究	(117)
新疆农业节水管理的实践与思路	(119)
新疆灌区供水到户管理模式创新实践及效益	(125)
论水价经济杠杆作用的发挥	(134)
干旱内陆新疆区水生态阈值及保障机制	(140)
干旱内陆灌区灌溉水利用系数影响因素及预测分析	(147)
基于 2008 年大旱之年的新疆灌溉能力分析	(156)
第三章 节水灌溉新探索	(163)
新疆 21 世纪初节水灌溉问题	(165)

新疆灌溉农业发展与节水潜力研究	(168)
我国节水灌溉灌水器研究现状与展望	(175)
新疆高效节水灌溉发展规模研究	(181)
基于 GDP 耗水量的节水分析	(189)
蓄流分离式灌溉新技术研究	(196)
农业用水定额分析方法探讨	(206)
干旱区农业灌溉用水定额研究	(211)
新疆地区农业灌溉水利用系数分析	(218)
干旱新疆区不同灌溉模式灌溉定额及变化研究	(228)
第四章 量水新技术研究	(239)
灌溉渠道断面测水简易快速方法	(241)
明渠超声波灌溉量水应用技术研究	(243)
基于灌区节水管理的孔口闸门设计研究	(249)
灌区孔口闸门量水技术试验研究	(256)
塑材明渠工程技术研究	(261)
加强查墒量水设施建设 提高我区农业节水效益	(269)
灌溉墒情量测应用技术研究	(272)
第五章 盐碱改良新方法	(281)
膜下滴灌条件下土壤水盐运移研究综述	(283)
新疆土壤次生盐化主要成因及对策	(289)
我国盐碱地改良技术综述及展望	(294)
土壤水盐定向迁移及排盐新模式研究	(300)
盐碱地改良技术综述与一种新的研究模式展望	(309)
膜下滴灌土壤水盐定向迁移分布特征及排盐效应研究	(317)
第六章 灌区信息化研究	(329)
重视系统工程技术在农业生产管理中的应用	(331)
水利管理办公系统软件的开发应用	(334)
水利管理办公系统应用软件综述	(339)
灌区用水管理信息技术设计研究	(346)
本书参考文献	(356)

第一章 技术理论与试验

新疆地区作物耗水时空多样性特征分析

摘要:新疆地处干旱内陆区,绿洲农业分布于地域辽阔的洪积冲积扇和山间盆地的荒漠戈壁之间;广大平原区,地处永久性少雨强蒸发干旱环境,永久性、区域性、季节性、周期性干旱相互交织。这种广泛多样性引起作物耗水时空差异致使作物耗水分布不均。鉴于干旱区地理环境特征,基于各灌区 1952~2008 年 57 年积累长系列相关气象数据,采用最新修正彭曼-蒙特斯(Penman-Monteith)方法,应用非线性和多元线性模型以及时间序列指数平滑法,研究作物耗水量 ET_0 时空分布特征和变异规律及发展趋势。结果显示,各灌区 ET_0 峰期均发生在春、夏之交(6月);历史变化多呈现 3 个波动阶段,今后若干年 ET_0 多为上升趋势; ET_0 随海拔、纬度呈现增、减互交变化多样性,风速对 ET_0 正效应敏感性显著高于其他影响因素并产生叠加效应。研究结果有利于把握作物生长需水和环境关系、年内需水关键期及年际时空变化,可为基于灌溉分区的水资源有效利用配置和预警管理提供理论分析依据。

关键词:内陆干旱;绿洲作物耗水;时空多样性;特征分析

1 引言

我国西北新疆远离海洋,深居内陆,四周有高山阻隔,海洋湿气不易进入,形成典型大陆性气候。气温变化大,日照时间长,降水稀少^[1],气候干旱,蒸发强烈,生态脆弱,年均气温 10.4℃,年均降水仅 150mm,相当于全国年均降水量的 23%,是全国降水量最少地区;年均蒸发皿蒸发量 1 500~3 000mm,是降水量的 10 倍以上,干旱指数高达 10~15。农业绿洲分布在地域辽阔的洪积扇、冲积平原、山间盆地的荒漠戈壁之间;广大平原灌区,地处永久性少雨强蒸发干旱环境,永久性区域性季节性干旱和周期性干旱相互交织;内陆封闭环境造成特有的春、夏秋旱频繁发生致使农作物受旱减产;干旱气象带山区、平原广泛多样性引起灌区作物耗水量空间时域差异,致使作物耗水分布不均。鉴于干旱区地理环境,研究绿洲作物耗水量时空变异规律和分布特征^[2,3],有利于把握不同灌区作物生长需水要求与环境关系、年内作物需水关键期,以及年际空间时域作物需水量变化发展趋势,对于基于灌溉分区的水资源有效利用配置和农业节水灌溉规划^[4]等均具有现实指导意义。

2 研究方法

基于覆盖全疆区域的 82 个县级和 9 个二级气象站,1952~2008 年长系列农业气象数

据,并以82个县级和9个二级区规划组合的12个农业灌溉分区作为研究分析对象。基于灌区地理位置、海拔高程、农作物生长期年积温和无霜期、降水蒸发等农业气象要素考虑,选择代表性灌区见表1。采用最新修正的彭曼-蒙特斯公式、一元非线性、多元线性回归^[5,6]、指数平滑预测模型方法,分析研究干旱区作物生育阶段作物耗水 ET_0 在灌溉分区的年际时空变异特征和发展趋势,以及年内时域变化强度;分析灌溉分区农业气象及地理要素对 ET_0 的敏感性影响和空间变异效应。

表1 代表性灌区自然地理、农业气象要素状况

代表性灌区		经度-纬度	海拔 (m)	年均气温、积温(℃)			无霜期 (d)	年降水量 (mm)	年蒸发量 (mm)
代表灌区	典型区			年均	≥0	≥10			
和田地区	和田	79°56′-37°08′	1 374.6	12.6	4 797.6	4 360.9	224	38.0	2 560.1
喀什地区	喀什	75°59′-39°28′	1 288.7	13.3	4 708.0	4 250.5	210	63.4	2 618.4
克州灌区	阿图什	76°12′-39°43′	1 297.9	13.1	5 134.2	4 697.9	261	86.3	2 938.7
阿克苏区	阿克苏	80°14′-41°10′	1 103.8	10.3	4 219.2	3 803.4	193	70.3	1 941.5
巴州灌区	库尔勒	86°08′-41°45′	931.5	11.7	4 708.6	4 273.8	228	59.1	2 631.4
吐鲁番区	吐鲁番	89°12′-42°56′	34.5	14.4	5 731.6	5 391.3	265	16.4	2 597.3
哈密灌区	哈密	93°31′-42°49′	737.9	10.0	4 485.8	4 038.3	228	38.1	2 640.4
乌一昌区	昌吉	87°18′-44°01′	577.2	7.0	3 834.3	3 374.1	157	193.2	1 765.1
博州灌区	精河	82°54′-44°37′	320.1	7.7	4 022.5	3 582.5	174	102.2	1 501.7
塔城灌区	塔城	83°00′-46°44′	548.0	6.8	3 382.0	2 858.1	135	289.3	1 594.1
伊犁灌区	霍城	80°51′-44°03′	640.0	9.5	4 054.7	3 534.0	167	233.7	1 477.2
阿勒泰区	阿勒泰	88°05′-48°03′	735.3	4.4	3 248.3	2 794.7	151	195.8	1 665.0

3 作物腾发量 ET_0 时空变异分析

3.1 作物生长期 ET_0 年内变化强度

干旱新疆灌区农作物生长发育期多为3~9月,即农作物需水和灌溉用水调配时段。基于作物耗水量分析考虑^[7],应用参考作物蒸发蒸腾量(ET_0)作为分析参数,采用1992年联合国粮农组织提出的最新修正彭曼-蒙特斯(Penman-Monteith)方法^[8,9],采用各灌溉分区气象站1952~2008年57年积累长系列相关数据,以作物耗水量 $P=50\%$ 、 $P=75\%$ 、 $P=90\%$ 概率,可得各灌区年内3~9月 ET_0 变化强度。由于各灌区 ET_0 变化强度均有类似的变化规律,故仅列出和田、阿勒泰灌区 ET_0 变化过程如图1所示。由图1看出, ET_0 年内随时间 t 变化呈二次抛物线变化,符合 $ET_0=a+bt+ct^2$ ($c<0$)关系,经拟合函数见表2。结果表明,12个灌区 ET_0 年内时序月(t)相关性达到极显著水平,具有很好的代表性。

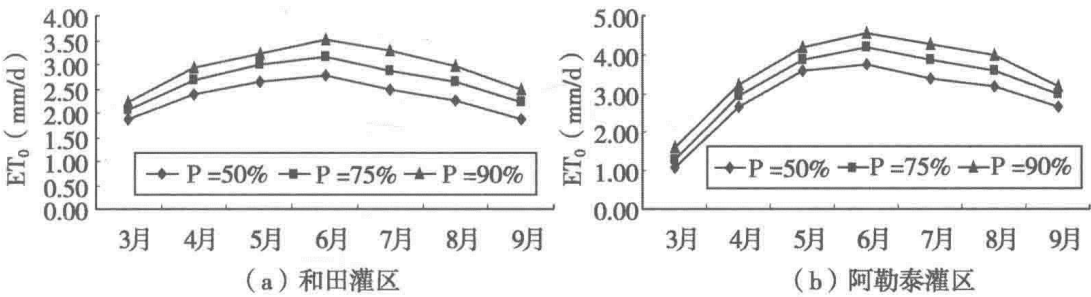


图1 灌区 ET_0 年内随时间变化

表2 各灌区 ET_0 年内随月序 t (3~9月) 函数拟合

灌区	概率 P (%)	二次函数拟合关系式	R
和田	50	$ET_0 = -0.696\ 9 + 1.168\ 9\ t - 0.097\ 7\ t^2$	0.987 **
	75	$ET_0 = -0.885\ 0 + 1.348\ 2\ t - 0.110\ 4\ t^2$	0.984 **
	90	$ET_0 = -1.152\ 4 + 1.548\ 6\ t - 0.126\ 2\ t^2$	0.991 **
喀什	50	$ET_0 = -1.845\ 7 + 1.571\ 4\ t - 0.129\ 3\ t^2$	0.989 **
	75	$ET_0 = -2.416\ 9 + 1.928\ 2\ t - 0.156\ 3\ t^2$	0.997 **
	90	$ET_0 = -2.704\ 1 + 2.128\ 9\ t - 0.171\ 3\ t^2$	0.993 **
克州	50	$ET_0 = -2.504\ 5 + 1.831\ 1\ t - 0.145\ 8\ t^2$	0.980 **
	75	$ET_0 = -2.834\ 5 + 2.119\ 6\ t - 0.168\ 0\ t^2$	0.987 **
	90	$ET_0 = -3.393\ 1 + 2.463\ 2\ t - 0.195\ 1\ t^2$	0.989 **
阿克苏	50	$ET_0 = -2.525\ 5 + 1.846\ 1\ t - 0.147\ 7\ t^2$	0.999 **
	75	$ET_0 = -2.547\ 1 + 1.9539\ t - 0.153\ 5\ t^2$	0.998 **
	90	$ET_0 = -3.543\ 1 + 2.397\ 5\ t - 0.188\ 0\ t^2$	0.996 **
巴州	50	$ET_0 = -2.115\ 7 + 1.777\ 1\ t - 0.143\ 6\ t^2$	0.981 **
	75	$ET_0 = -2.445\ 0 + 2.001\ 8\ t - 0.159\ 6\ t^2$	0.987 **
	90	$ET_0 = -2.933\ 8 + 2.285\ 0\ t - 0.180\ 5\ t^2$	0.988 **
吐鲁番	50	$ET_0 = -4.085\ 0 + 2.731\ 8\ t - 0.220\ 4\ t^2$	0.994 **
	75	$ET_0 = -5.393\ 8 + 3.4214\ t - 0.271\ 9\ t^2$	0.997 **
	90	$ET_0 = -5.914\ 8 + 3.702\ 9\ t - 0.292\ 4\ t^2$	0.998 **
哈密	50	$ET_0 = -3.631\ 7 + 2.304\ 6\ t - 0.181\ 6\ t^2$	0.978 **
	75	$ET_0 = -3.987\ 9 + 2.527\ 5\ t - 0.196\ 8\ t^2$	0.986 **
	90	$ET_0 = -5.075\ 2 + 3.039\ 3\ t - 0.236\ 2\ t^2$	0.991 **
乌-昌	50	$ET_0 = -5.020\ 5 + 2.735\ 7\ t - 0.206\ 7\ t^2$	0.999 **
	75	$ET_0 = -5.282\ 4 + 2.920\ 0\ t - 0.219\ 1\ t^2$	0.999 **
	90	$ET_0 = -5.662\ 4 + 3.182\ 9\ t - 0.240\ 5\ t^2$	0.999 **
博州	50	$ET_0 = -3.775\ 7 + 2.121\ 4\ t - 0.162\ 1\ t^2$	0.994 **
	75	$ET_0 = -4.298\ 3 + 2.400\ 4\ t - 0.182\ 7\ t^2$	0.998 **
	90	$ET_0 = -4.245\ 0 + 2.473\ 9\ t - 0.187\ 5\ t^2$	0.995 **

续表

灌区	概率 P (%)	二次函数拟合关系式	R
塔城	50	$ET_0 = -4.5017 + 2.5118t - 0.1887t^2$	0.993**
	75	$ET_0 = -4.7350 + 2.6861t - 0.2011t^2$	0.996**
	90	$ET_0 = -4.7179 + 2.7889t - 0.2089t^2$	0.999**
伊犁	50	$ET_0 = -1.2719 + 1.2479t - 0.0981t^2$	0.926**
	75	$ET_0 = -1.4674 + 1.4196t - 0.1108t^2$	0.951**
	90	$ET_0 = -1.1343 + 1.4029t - 0.1100t^2$	0.955**
阿勒泰	50	$ET_0 = -4.8598 + 2.6654t - 0.2056t^2$	0.972**
	75	$ET_0 = -5.2238 + 2.8979t - 0.2226t^2$	0.984**
	90	$ET_0 = -5.3036 + 3.0454t - 0.2346t^2$	0.991**

注：* 表示相关性 R 值在 95% 概率下显著，** 表示在 99% 概率下达极显著水平。全书同

对 $ET_0 = a + bt + ct^2$ 方程求一阶导数并令其等于 0，则有

$$d ET_0 / dt = b + 2c = 0 \quad (c < 0) \quad (1)$$

由 (1) 式得不同灌区 ET_0 最大值发生时间见表 3 所示。

由表 3 分析表明，和田、喀什灌区 ET_0 峰值发生在 6 月初，对应的 $P = 50\%$ 、 $P = 75\%$ 、 $P = 90\%$ 3 种概率 ET_0 峰值分别为 2.80 ~ 2.93mm/d、3.23 ~ 3.53mm/d、3.60 ~ 3.91mm/d；克州、阿克苏、巴州、吐鲁番、哈密灌区 ET_0 峰值发生在 6 月上旬，3 种概率 ET_0 峰值分别为：3.24 ~ 4.38mm/d、3.67 ~ 5.37mm/d、4.10 ~ 5.81mm/d；乌 - 昌、博州、塔城、伊犁、阿勒泰灌区 ET_0 峰值发生在 6 月中或中下旬，3 种概率 ET_0 峰值分别为 2.70 ~ 4.03mm/d、3.08 ~ 4.45mm/d、3.34 ~ 4.59mm/d。以上分析结果说明，各灌区 ET_0 峰值均发生在历年春、夏之交的 6 月，该时段是作物需水峰期，因此，该阶段农业灌溉用水调配和管理，对作物生长显得十分重要。

表 3 各灌区年内 ET_0 极大值所发生时间 t (月)

灌区	$P = 50\%$		$P = 75\%$		$P = 90\%$	
	时间 t	ET_0 (mm/d)	时间 t	ET_0 (mm/d)	时间 t	ET_0 (mm/d)
和田	6 月初	2.80	6 月初	3.23	6 月初	3.60
喀什	6 月初	2.93	6 月初	3.53	6 月初	3.91
克州	6 月上旬	3.24	6 月上旬	3.85	6 月上旬	4.38
阿克苏	6 月上旬	3.24	6 月中旬	3.67	6 月上旬	4.10
巴州	6 月上旬	3.38	6 月上旬	3.83	6 月上旬	4.30
吐鲁番	6 月上旬	4.38	6 月上旬	5.37	6 月上旬	5.81
哈密	6 月上旬	3.68	6 月中旬	4.13	6 月上旬	4.70
乌昌	6 月中旬	4.03	6 月中旬	4.45	6 月中旬	4.87
博州	6 月中旬	3.16	6 月中旬	3.59	6 月中旬	3.92
塔城	6 月下旬	3.86	6 月下旬	4.23	6 月下旬	4.59
伊犁	6 月中旬	2.70	6 月中旬	3.08	6 月中旬	3.34
阿勒泰	6 月中旬	3.78	6 月中旬	4.21	6 月中旬	4.58

3.2 作物生长期 ET_0 年际变化趋势

采用时间序列指数平滑^[10]方法,分析代表灌区 1952 ~ 2008 年长系列年际间^[11]作物生长期(3 ~ 9 月) ET_0 历史变化和发展趋势。各代表性灌区作物生长期 ET_0 年际变化阶段、特征量以及变化趋势^[12]值列于表 4。

表 4 代表性灌区作物生长期 ET_0 (mm) 年际变化阶段数、特征量及趋势值

代表性灌区		历年变化阶段	历年平均	最大值		最小值		2008 年后	
代表灌区	典型区			数值	年份	数值	年份	预测	趋势
和田地区	和田	3	525	664	2 004	340	1 992	600	增
喀什地区	喀什	3	532	917	1 954	344	1 990	530	增
克州灌区	阿图什	2	558	705	1 970	409	1 996	560	增
阿克苏区	阿克苏	3	424	562	1 956	318	1 979	500	增
巴州灌区	库尔勒	2	643	830	1 969	465	1 991	590	增
吐鲁番区	吐鲁番	3	481	713	1 953	251	1 998	480	增
哈密灌区	哈密	3	529	931	1 953	293	1 994	420	增
乌 - 昌区	昌吉	4	493	672	1 985	368	1 954	500	平
博州灌区	精河	3	448	664	1 961	242	1 993	470	增
塔城灌区	塔城	2	474	655	2 007	295	1 959	480	增
伊犁灌区	霍城	3	387	521	1 982	249	1 997	420	增
阿勒泰区	阿勒泰	3	505	631	1 962	374	1 992	470	增

综合分析看出,各代表灌区 ET_0 在年际变化中多表现出 3 个波动阶段。除了乌 - 昌灌区,2008 年之后指数平滑预测 ET_0 值多呈现走高趋势,这预示着今后若干年各灌区作物耗水量将会增大。

4 农业气象及地理因素对 ET_0 的影响效应

4.1 ET_0 影响要素的敏感性分析

由彭曼 - 蒙特斯公式可知,分析 ET_0 主要气象因子有气温 (T)、水气压 (e_d); 2m 高处风速 (u)、日照时数 (n),以及灌区纬度和海拔高程等自然地理要素。分析各要素变化对 ET_0 的敏感性,有助于了解不同灌区农业气象要素对作物耗水影响程度,从而为灌区灌溉用水合理调配管理提供依据。考虑到干旱区农作物生长需水峰期为 6 月,以该时段气温 (T)、水气压 (e_d)、风速 (u)、日照 (n)、纬度、海拔高程为参照,采用其中某一因素在基本区间范围内以一定步长变动,如和田灌区平均气温 ($^{\circ}\text{C}$) 从 16、18...34; 水气压 (kPa) 从 0.51、0.61...1.50; 风速 (m/s) 从 0.80、1.02...2.70; 日照 (h) 从 8.0、8.4...11.6; 北纬 (度) 从 37.0、37.8...44.2; 海拔 (m) 从 400、560...1840,而其他因素相对固定,分析该状态下这一因素对 ET_0 的敏感性,不同因素对 ET_0 的敏感性分析结果见表 5 所示。

表5 和田灌区气象因素变化对参考作物 ET_0 (mm/d) 影响敏感度分析 (%)

气温 ET_0	水气压 ET_0	风速 ET_0	日照 ET_0	纬度 ET_0	海拔 ET_0
6.6	0.7	23.2	0.0	-1.3	-0.7
5.6	0.0	18.3	0.0	-2.0	-1.3
5.5	0.3	11.4	0.3	-2.1	-0.7
4.9	0.0	12.2	0.0	-1.4	-1.4
4.1	0.0	10.9	0.0	-2.1	-0.7
3.4	0.7	9.2	0.0	-2.2	-1.4
3.8	0.0	4.5	0.7	-2.2	-0.7
3.1	0.0	7.5	0.0	-2.3	-1.4
3.0	0.0	7.5	0.7	-1.6	-0.7

由表5看出, 风速对 ET_0 变化影响的敏感度最大, 在 4.5% ~ 23.2%; 其次是气温, 影响敏感度 3.0% ~ 6.6%; 水气压和日照时数都相对较小。随着纬度和海拔高程递增, ET_0 逐步变小, 其敏感度表现为: 纬度 -2.2% ~ -1.3%, 海拔高程 -1.4% ~ -0.7%; 纬度对 ET_0 影响大于海拔高程。

分析表明, 对于 ET_0 产生正效应的影响要素有: 风速 > 气温 > 空气水气压 > 日照时数; 产生负效应影响要素是: 灌区所在海拔高程 > 灌区所处地理纬度。这说明在海拔和纬度较高灌区农作物耗水量比平原区减少, 意味着平原灌区作物耗水, 及其灌溉用水定额要比高海拔和高纬度灌区增加, 研究结果与农业生产实际情况相吻合。

4.2 ET_0 影响因素空间变异效应

新疆 83 个县(市)级灌区分布在山前洪积扇中、下部, 以及广大河流冲击平原区, 幅射极度干旱、山前半干旱, 海拔高度、纬度等自然地理因素差异较大, 覆盖和经历不同气温、水气压、风速、日照、空气相对湿度等气象环境的影响。

对各灌区 1952 ~ 2008 年 57 年积累长系列: 气温、水气压、风速、日照、相对湿度、最小相对湿度、降水量、蒸发量 8 项气象因素, 共计 400 余万相关数据处理分析, 得到 92 个代表灌区 (83 个县级灌区, 9 个二级观测站) 在不同自然地理环境和气象状态下, 作物生长期 3 ~ 9 月 ($P=50\%$ 、 $P=75\%$ 概率) 的 ET_0 值。

以各灌区分布海拔高程 (m) Z 、北纬 (度) ψ 、气温 ($^{\circ}\text{C}$) T 、水气压 (kPa) e_d 、2m 高处风速 (m/s) u_2 、日照 (h) n 为自变量, 采用多元线性模型^[13]对 ET_0 变化影响定量分析。由 (2) 式模型应用最小二乘法, 经拟合得到各灌溉分区的回归方程如表 6 所示。

$$y = k_0 + k_1x_1 + k_2x_2 + \cdots + k_nx_n \quad (2)$$

式中: $k_0, k_1, k_2 \cdots k_n$ 为回归系数。

由表 6 结果看出, 相关性显著拟合回归方程效果具有代表性。综合分析结果表明, 大多数灌区 ET_0 具有随海拔高程、纬度增加而减小的空间变异效应。同时, 在一些灌区 ET_0 随海拔高程、纬度呈现增、减互交变化的多样性效应。其原因在于 ET_0 形成基于气温、水