

周鸿文,孙艳伟,吕文星,等. 基于 SWAT 模型的青海引黄灌区耗水系数模拟[J]. 江苏农业科学,2017,45(23):248-251.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.23.068

基于 SWAT 模型的青海引黄灌区耗水系数模拟

周鸿文¹, 孙艳伟², 吕文星¹, 刘东旭¹, 王玉明¹

(1. 黄河水利委员会水文局,河南郑州 450004; 2. 华北水利水电大学,河南郑州 450045)

摘要:在系统分析和总结现有灌区耗水量及耗水系数研究成果的基础上,以青海典型灌区大峡灌区为例,基于灌区的不同作物生育过程需水、耗水机理和水平衡原理,利用 SWAT(soil and water assessment tool)建立了灌区分布式水循环模型,从区域水循环机理出发,模拟降水和灌溉引水量在灌区的蒸散发和入渗等情况,并对灌区引水、耗水和排水进行了系统分析和精确计算。模拟结果表明,2013 年引水量为 4 976.0 万 m³,扣除无效引水后进入到田间地块的水量为 2 985.6 万 m³,作物耗水量为 2 130.6 万 m³,入渗水量为 1 634.1 万 m³,平均耗水系数为 0.517。研究成果为科学率定农业灌溉耗水系数、加强农业用水管理提供了依据。

关键词:耗水系数;SWAT 模型;引黄灌区;青海省

中图分类号: TV211;TV213 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)23-0248-03

随着流域社会、经济、生态环境需水量的增长,黄河流域水资源供需矛盾十分突出,已成为流域经济社会可持续发展的主要瓶颈。自 20 世纪 90 年代以来,黄河的来水量呈逐年减少的趋势,特别是进入 90 年代以来黄河来水量减少了 10% 左右,致使本已用水紧张的黄河下游流域出现连续断流,给下游地区造成了巨大的经济、社会、生态环境损失^[1-4]。在这种背景下,历史上一直采用大引大排的青海引黄灌区的引、耗用黄河水量情况也就成为社会各界关注的焦点之一^[5]。因此,研究青海引黄灌区耗水情况,据用水均衡模型来精确地估算和分析灌区耗水量,据此计算其耗水系数就显得十分重要。

本研究在对灌区耗水量研究现状分析的基础上,采用基于物理机制的 SWAT(soil and water assessment tool)模型来模拟灌区的耗水量及水量转化关系,以黄河一级支流湟水流域的大峡灌区为例,模拟其耗水系数,从而为灌区水资源的高效利用提供理论依据。

1 灌区耗水系数和耗水机理

近年来不少学者在不同时空尺度、水分循环过程、耗水结构和对象水源等方面进行研究,从不同角度对耗水量概念的内涵进行界定^[6]。研究的时空尺度有流域、行政区、工业用水区、灌区和地块等,对包括降水、地表水、地下水、土壤水和再生水等不同水源在取用水过程中的损失途径、消耗驱动因素及空间异质性对耗水量的影响等问题进行了研究。一般的耗水量,也称用水消耗量,是指毛用水量在输水、用水过程中,通过蒸腾蒸发、土壤吸收、产品带走、居民和牲畜饮用等多种

途径消耗掉而不能回归到地表水体或地下含水层的水量,可分为农田灌溉以及工业、生活、其他用水户的耗水量^[7]。由于研究区仅针对农业用水量进行研究,不包括居民生活用水和工业用水,因此,此处所界定的耗水量为农田灌溉的耗水量,即在灌溉的过程中通过作物蒸腾作用蒸发的水量、深层渗漏而最终不能回归到地表水体的水量。基于此,耗水系数等于耗水量除以引水量。

根据秦大庸等的研究,耗水系数的计算主要有河段差法、引排差法和最大蒸发量法,3 种方法各有其优缺点^[5]。其中,河段差法主要基于黄委会上中游水文局控制的上下游测站资料,即利用入境水文测站和出境水文测站实测资料,以及区间的汇入、调出水量等资料,根据水平衡原理来分析和计算耗用的黄河水量,但受控制断面和地下径流测定复杂性特点的影响,河段差法在计算耗水系数时容易产生较大误差。引排差法通过对引水干渠全面监测和对主要排水沟进行驻测、巡测,对漏测部分利用邻近排水沟排水模数进行插补计算,从而计算出控制区域内的引水量、耗水量和排水量,但受测量精度的影响,其结果的精确性很难保证。除此之外,引排差法没有考虑有效降水量的影响。第 3 种方法为最大蒸发量法,采用彭曼公式计算作物蒸腾蒸发量(即植株蒸腾量和棵间蒸发量的总和),再换算成灌区耗水量,该方法通常利用点试验数据进行区域的大面积估算,计算误差较大。

2 基于水量平衡的灌区耗水量及耗水系数计算模型

2.1 模型设计

通过对已有灌区耗水量计算方法的总结和系统分析,结合灌区引黄灌区现状,并考虑引黄灌区的水循环规律和作物耗水机理,提出了一套基于水量平衡原理的灌区水均衡模型,并在 SWAT 平台上,通过构建模型进行作物耗水量、潜水蒸发量、入渗水量、土壤水变化量的计算,并在此基础上,计算整个灌区的耗水系数。

为体现模型参数的空间变异性,同时便于分析计算,在综合考虑地貌地形的基础上,从灌区管理的角度出发,依据灌渠

收稿日期:2016-07-11

基金项目:国家自然科学基金(编号:51579102);青海省黄河流域灌区耗水系数研究(编号:QX2012-019)。

作者简介:周鸿文(1970—),男,青海海东人,教授级高级工程师,研究方向为水文水资源和水土保持。Tel:(0371)66021834;E-mail:shjc.2008@163.com。

引水斗门及种植结构的不同,将灌区细化为基本的不同耗水单元,其中每个耗水单元都有明确的引水量、排水量、土地利用形式和不同的作物种植结构。

在垂向结构上,根据灌区的水量转化关系,将其分为大气层、地表层、土壤层和浅层地下水层。在大气层考虑的主要因素有太阳辐射、降雨、风速等与作物耗水量相关的因素;在地表层,耗水单元间通过渠系和排水沟进行水量交换;在土壤层,耗水单元间相互独立;在潜土层,只考虑耗水单元在垂向上与土壤水发生的水量交换。以土壤层为例,其水量平衡方程为

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{\text{day}} + I_{\text{rr}} + R_{\text{evap}} - Q_{\text{surf}} - E_a - w_{\text{seep}} - L_{\text{at}} - T_{\text{ile}}) \quad (1)$$

式中: SW_t 为末时段土壤含水量, mm; SW_0 为第 i 天初始土壤含水量, mm; t 为计算时间, d; R_{day} 为第 i 天的降雨量, mm; Q_{surf} 为第 i 天的地表径流量, mm; E_a 为第 i 天的蒸发量, mm; w_{seep} 为第 i 天的入渗水量, mm; L_{at} 为第 i 天的壤中流, mm; T_{ile} 为第 i 天的暗管排水量, mm; I_{rr} 为第 i 天的灌溉水量, mm; R_{evap} 为第 i 天的潜水蒸发量, mm。

2.2 水平衡系统组成要素计算

SWAT 模型中水平衡系统作物蒸腾蒸发量、入渗水量、壤中流、潜水蒸发量等的计算主要采用蒸散发模型、土壤水计算模型和地下径流计算模型来实现,简要概述如下。

2.2.1 蒸散发模型 彭曼公式法将蒸发所需的热能、水和水蒸气运动的动能以及接触层的蒸散发阻力等因素均考虑在内,因此,本研究采用彭曼公式来计算作物的蒸腾蒸发量。彭曼公式所需要的数据主要包括太阳辐射、日最高最低气温、相对湿度和风速。其中,中国气象科学数据共享服务网提供了日最高最低气温、相对湿度、风速和日照时数等数据。具体公式如下:

$$\lambda E = \frac{M}{\gamma + \Delta M} \left[(R_n - G) \Delta + \frac{\rho C_p (e_s - e)}{r_{\text{atm}}} \right] \quad (2)$$

式中: λE 为水分进入大气的潜在通量, $W \cdot m^2$; λ 为蒸发潜热, J/kg ; E 为水汽质量通量, $kg/(s \cdot m^2)$; γ 为空气湿度常数, Pa/K ; Δ 为饱和水汽压梯度, Pa/K ; $e_s - e$ 为蒸气压差, Pa ; ρ 为空气密度, kg/m^3 ; C_p 为恒压下的比热容, $J/(kg \cdot K)$; M 为可供水汽量; r_{atm} 为蒸散发阻力, s/m ; $R_n - G$ 为净辐射与地面辐射之差, W/m^2 。

2.2.2 土壤水计算模型 从地表下渗到土壤中的水分可以被植被吸收,也可以通过土壤表层或植被蒸散发,或可以下渗补给地下水,还有一部分在一定条件下会发生水平运动,形成壤中流。依据 SWAT 模型,采用动力贮水方法计算壤中流流量,该方法是根据块体连续方程在倾斜山坡的二维横截面上进行的计算,具体计算公式为

$$Q_{\text{lat}} = 0.024 \left(\frac{2 \times SW_{\text{ly,excess}} \times K_{\text{sat}} \times slp}{\phi_d \times L_{\text{hill}}} \right) \quad (3)$$

式中: Q_{lat} 为壤中流流量; $SW_{\text{ly,excess}}$ 为土壤饱和区内的可流出水量, mm; K_{sat} 为土壤饱和导水率, mm/h ; slp 为坡度; ϕ_d 为土壤层总空隙度; L_{hill} 为山坡坡长, m。

2.2.3 地下径流 地下径流以河流基流的形式存在,可由地下水蓄量和枯水季持续径流量推算得出。SWAT 模型中采用

的流域地下径流量计算公式如下:

$$Q_{\text{gw},i} = Q_{\text{gw},i-1} \times \exp(-\alpha_{\text{gw}} \times \Delta t) + \omega_{\text{rchrg}} \times [1 - \exp(-\alpha_{\text{gw}} \times \Delta t)] \quad (4)$$

式中: $Q_{\text{gw},i}$ 为第 i 天进入河道的地下水补给量, mm; $Q_{\text{gw},i-1}$ 为第 $i-1$ 天进入河道的地下水补给量, mm; α_{gw} 为基流的退水系数; Δt 为时间步长, d; ω_{rchrg} 为第 i 天蓄水层的补给流量, mm。

其中,补给流量的计算公式如下:

$$W_{\text{rchrg},i} = [1 - \exp(-1/\delta_{\text{gw}})] \times W_{\text{seep}} + \exp(-1/\delta_{\text{gw}}) \times W_{\text{rchrg},i-1} \quad (5)$$

式中: $W_{\text{rchrg},i}$ 为第 i 天的蓄水层补给量, mm; δ_{gw} 为补给滞后时间, d; W_{seep} 为第 i 天通过土壤剖面底部进入地下含水层的水分通量, mm/d。

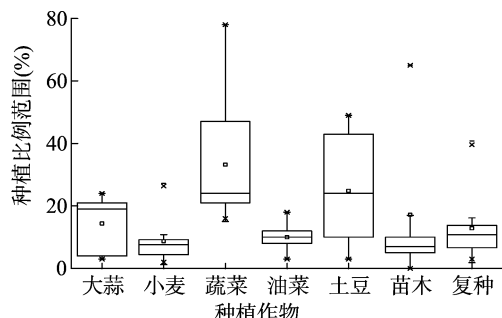
3 模型应用

3.1 研究区概况

大峡渠灌区位于湟水左岸的青海省海东市乐都区高店镇河滩寨村,水源引自湟水,下游有引胜沟等湟水一级支流作为补充水源。灌区贯穿于湟水左岸青海省海东地区乐都县的高店、雨润、共和、碾伯、高庙 5 个乡镇的 43 个行政村和单位。灌区气候干旱少雨、日照充足、蒸发强烈,灌区发展主要靠引黄灌溉。大峡渠灌区渠道全长 57 km,渠首设计流量 3.5 m^3/s ,加大流量 3.9 m^3/s ,年均引水量约 7 700 万 m^3 ,有效灌溉面积 3 000 hm^2 ,实际灌溉面积 2 666.7 hm^2 。大峡渠灌区位于河谷平原川水区,该区沿湟水干流及其一级支流呈带状分布,由河滩和 1~5 级阶地坡洪积扇组成,土体构型较好,质地松,是全县的主要产粮区。灌区主要土地类型有灰钙土、栗钙土、黑钙土、灰褐土、山地草甸土和高山草甸土。灌区种植结构复杂,以小麦、蔬菜和苗木为主。大峡渠灌区干渠退水口 29 处,毛渠退水口多达 198 处,目前难以全面进行监测,通过现场查勘选取了一处 19.3 hm^2 的典型地块(有 2 处进水口,6 处退水口)进行详细监测。

3.2 计算单元的划分

根据“2.1”节的划分方法,大峡灌区共划分 120 个子流域,其中各子流域的面积、种植结构如图 1 所示。图 1 表明,灌区主要的种植作物为大蒜、蔬菜和土豆,其中蔬菜和土豆的作物种植比例因子流域的不同而有显著不同,小麦、油菜、苗木和复种比例在各子流域的种植比例差别不大。



*表示各类作物在不同子流域内种植比例的最大值和最小值
图1 作物种植比例

3.3 模型参数

SWAT 模型所需的数据主要包括:(1)子流域划分数据。该数据主要用于流域描述、子流域划分及流域坡度、坡长、主

河道长度的确定等。从灌区管理的角度出发,充分考虑作物种植比例及土壤类型,以斗门为基本单位,将大峡灌区划分为 120 个子流域。(2)土地利用图以及土壤图。这部分数据主要来源于《青海省乐都县土壤志》《青海省乐都县农业区划》等文献资料,并结合现场勘查予以确定,主要用于确定水文响应单元。(3)气象数据。这部分数据主要来源于国家气象局 1990—2013 年 24 年间 3 个气象站的逐日降水量、逐日最高气温、逐日最低气温、日照时数、平均风速、相对湿度等,主要用于计算灌区地表径流量和蒸散发量。(4)土壤性质数据。这部分数据主要通过实地调查取样并通过试验获得,主要用于计算壤中流、地下水等,主要包括土壤机械颗粒组成、干容重、土壤饱和导水率、有效持水量等。(5)作物数据库。这部分数据主要是通过参考试验站的试验数据以及一些参考文献确定的^[8],主要用于计算作物耗水量以及模拟作物生长过程(叶面积指数、作物生长的特征点等)等。(6)基流参数。这部分数据主要是基于《中华人民共和国区域水文地质普查报

告——西宁幅、乐都幅》中所确定的水文地质参数并结合相关参考文献予以确定的,主要用于计算地下水。

3.4 模型模拟结果验证

利用 SWAT 建立模型,并将上述参数值进行归纳整理,得到面积、坡度、所包含的水文响应单元(hydrological response unit,简称 HRU)及其对应的农业管理文件.mgt,土壤文件.sol、.sub,气象输入文件*.pcp、*.tmp、*.hmd、*.wnd、*.slr、*.pet 等,以及作物生长模型参数等,针对典型地块运行 SWAT 模型,将其结果与通过典型地块的引水和退水分析结果进行对比可知,2013 年在田间地块尺度上,耗水系数为 0.52,实际监测结果为 0.50,相对误差为 4%。模拟计算的土壤含水率与实际监测情况一致,说明土壤参数设置比较合理。由于田间地块充分考虑了各种种植作物、典型引水量和退水情况,因此可将模型参数用于整个灌区,并通过构建 SWAT 模型进行模拟计算。其中影响灌区耗水量较大的各作物参数如表 1 所示。

表 1 灌区典型作物的主要生长参数值

| 作物 | 生长参数值 | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-------|------|-----|-------|-------|------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|------|-------|--------|
| | ICNUM | CPNM | IDC | BIO_E | HVSTI | BLAI | FRGRW1 | LAIMX1 | FRGRW2 | LAIMX2 | DLAI | CHTMX | RDMX | T_OPT | T_BASE |
| 冬小麦 | 29 | WWHT | 5 | 35 | 0.45 | 8.5 | 0.20 | 0.28 | 0.28 | 0.96 | 0.281 | 0.9 | 0.2 | 25 | 8.00 |
| 春小麦 | 27 | SWHT | 5 | 35 | 0.42 | 4.0 | 0.25 | 0.05 | 0.50 | 0.95 | 0.600 | 0.9 | 2.0 | 18 | 0 |
| 夏玉米 | 19 | CORN | 4 | 39 | 0.50 | 5.0 | 0.37 | 0.30 | 0.50 | 0.95 | 0.700 | 2.5 | 2.0 | 25 | 10.00 |
| 苗木 | 16 | RNGB | 6 | 34 | 0.90 | 2.0 | 0.05 | 0.10 | 0.25 | 0.70 | 0.350 | 1.0 | 2.0 | 25 | 12.00 |
| 土豆 | 70 | POTA | 5 | 25 | 0.95 | 4.0 | 0.15 | 0.01 | 0.50 | 0.95 | 0.600 | 0.6 | 0.6 | 22 | 7.00 |
| 大蒜 | 73 | ONIO | 5 | 30 | 1.25 | 1.5 | 0.15 | 0.01 | 0.50 | 0.95 | 0.600 | 0.5 | 0.6 | 19 | 4.52 |
| 油菜 | 75 | CANP | 4 | 34 | 0.23 | 3.5 | 0.15 | 0.02 | 0.45 | 0.95 | 0.500 | 0.9 | 0.9 | 21 | 5.00 |
| 蔬菜 | 92 | TOMA | 4 | 30 | 0.33 | 3.0 | 0.15 | 0.05 | 0.50 | 0.95 | 0.950 | 0.5 | 2.0 | 22 | 10.00 |

注:ICNUM 为土地覆被/作物代码;CPNM 为表征土地覆被/作物名称的四字符编码;IDC 为土地覆被/作物分类;DESCRIPTION 为完整土地覆被/作物名;BIO_E 为太阳辐射利用率或生物能比;HVSTI 为最佳生长条件下的收获指数;BLAI 为最大潜在叶面积指数;FRGRW1 为作物生长期比例或最佳叶片面积发展曲线第 1 点相应的总潜在热力单位的比例;LAIMX1 为相对于最佳叶片面积发展曲线第 1 点的最大叶片面积比例;FRGRW2 为作物生长期比例或最佳叶片面积发展曲线第 2 点相应的总潜在热力单位的比例;LAIMX2 为相对于最佳叶片面积发展曲线第 2 点的最大叶片面积比例;DLAI 为叶面积开始减少的生长期比例;CHTMX 为最大冠层高度,m;RDMX 为最大根深,m;T_OPT 为作物生长最佳温度,℃;T_BASE 为作物生长最低(基础)温度,℃。

3.5 模型计算结果分析

利用所建立的 SWAT 模型对整个大峡灌区进行模拟,并采用 2013 年的引水和作物种植比例数据,对模拟结果进行分析,可得到每个子流域的引水量、斗门引水量、进入田间水量、降水量、潜水蒸发量、蒸腾蒸发量、入渗水量、土壤含水量变化量。在扣除突发事件所导致的地表退水后,大峡灌区 2013 年的总引水量为 4 976.0 万 m³,扣除无效引水后进入到田间地块的水量为 2 985.6 万 m³,作物耗水量为 2 130.6 万 m³,入渗水量为 1 634.1 万 m³,各水文响应单位耗水系数在 0.411 ~ 0.699 之间,平均耗水系数为 0.517。入渗水量与作物耗水量接近,表明进入到田间地块的水只有将近一半为作物所利用,而另一半入渗补给地下水。其中,各个子流域的耗水系数如图 2 所示。

对图 2 进一步分析可知,耗水系数曲线可大致分为 6 段,具体为子区域 1 ~ 25、26 ~ 40、41 ~ 60、61 ~ 85、86 ~ 100、101 ~ 120,每一段曲线所对应的耗水系数具有接近的耗水系数值,灌区耗水系数的主要影响因素为子流域的引水量和作物蒸腾蒸发量。对于引水量而言,作物种植面积和作物种植比例是各子区域引水量不同的主要原因;而作物种植结构和种植比例是导致作物蒸腾蒸发量不同的主要原因;当子区域内的大

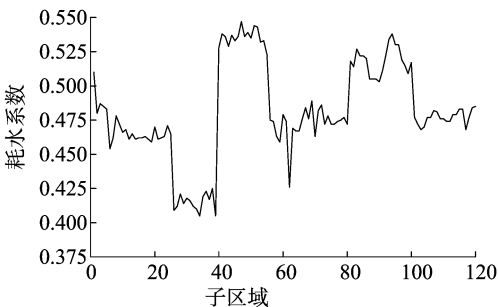


图2 各子区域耗水量

蒜和蔬菜等高耗水量的作物种植比例较大时,其作物蒸腾蒸发量也较大,因此,其对应的耗水系数也较大。模拟结果与实际情况一致,耗水系数较高的子区域同时也是大蒜和蔬菜等种植比例较高的区域,从另外一个侧面反映了模型的准确性。

4 结语

本研究基于水量平衡理论,建立了基于 SWAT 的灌区耗水量及耗水系数计算模型。该模型在大峡灌区的实际应用表明,除了能详细计算灌区总耗水量,还能定量计算各种水平衡要素间的转化关系,从而解决以往方法出现的水量间不平衡

马 妍,尹建道,张建唐,等. 酸性残渣对天津滨海盐碱土的改良效果[J]. 江苏农业科学,2017,45(23):251-253.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.23.069

酸性残渣对天津滨海盐碱土的改良效果

马 妍¹,尹建道¹,张建唐²,刘立民²

(1. 天津理工大学环境科学与安全工程学院,天津 300384; 2. 天津港海湾园林绿化有限公司,天津 300456)

摘要:以天津滨海盐碱土改良利用为目的,选择 3 种酸性残渣废弃物(醋渣、酒糟、糠醛渣)作为土壤改良剂,进行单因素土柱试验研究。结果表明,掺拌酸性残渣废弃物能够明显改善土壤的渗透性能,提高脱盐效率,同时抑制脱盐碱化程度,是一种两全其美的废弃物资源化利用途径。醋渣和酒糟增强渗透性能较强,糠醛渣抑制脱盐碱化的能力较强。改良程度的大小与添加比例相关,一般情况下 20% 的添加量基本能够满足改土要求。

关键词:天津;盐碱土改良;酸性残渣;废弃物资源化

中图分类号: S156.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)23-0251-03

酸性残渣是工业生产过程中的废弃物,量大面广、性质各异,若不能妥善处理,将会成为环境污染源危害社会。其中一部分属于食品类残渣,如醋渣、酒糟等,酸性强、结构疏松、有机质含量高,堆放处理极易造成酸败、发霉,腐臭味严重,干制再利用成本高,直接饲喂动物可能造成中毒^[1-2],目前,此类残渣废弃物尚无有效处理方法和适当再利用途径。天津滨海地区盐碱地面积大,土壤结构不良,盐化和碱化程度极高^[3-6],若利用此类酸性废弃物来改良土壤并脱盐降碱,不失为一种优势互补且具有明显环境效益的利用途径,也能为生产厂家和环保部门解决后顾之忧。相关资料表明,已有将酸性残渣应用于盐碱土改良的研究,高伟等开展盆栽试验筛选盐碱土改良剂,当改良剂施量设定为 3 000 kg/hm² 时,处理组 50% 褐煤+50% 醋渣的效果最好,春小麦产量最高^[7];郝禹等研究鸡粪、煤渣、污泥、酒糟、磷石膏 5 种物质对大庆盐碱土 pH 值及水溶性盐的影响^[8]。结果表明,酒糟对盐碱土壤 pH 值的改善效果最好;孙军娜等通过室内模拟降水淋盐试验

后发现,糠醛渣加入盐渍土后能显著降低土壤 pH 值^[9]。本研究将选取 3 种酸性残渣——醋渣、酒糟、糠醛渣,针对天津滨海地区盐碱土特性开展试验研究,旨在为该类型废弃物的资源化利用提供新途径,同时也为盐碱土改良探索新方法。

1 材料与方法

1.1 土壤

试验土壤取自天津市滨海新区南部(大港区)独流减河下游 64 km 处河道右岸。为保证土壤样本具有代表性,在多个采样点采取一定量 0~20 cm 表层土,充分混合均匀,实验室内风干,粉碎后过 2 mm 筛,测定相关理化性质,供试土壤基本理化性质见表 1。供试土壤的含盐量极高、碱性大、有机质含量低,土壤结构紧实、通透性差,理化性质不良,属于典型的滨海盐土,不进行改良就没有利用价值。

表 1 供试土壤的基本理化性质

| 理化性质 | 参数 |
|------------------------|-----------------------|
| 土壤类型 | 粉质黏土 |
| 容重(g/cm ³) | 1.42 |
| 渗透系数(cm/s) | 2.28×10^{-6} |
| pH 值 | 8.36 |
| 含盐量(g/kg) | 18.94 |
| 有机质含量(g/kg) | 14.26 |

收稿日期:2016-07-14

基金项目:天津港海湾园林绿化有限公司委托项目。

作者简介:马 妍(1992—),女,山西太原人,硕士研究生,主要从事盐碱地改良研究。E-mail:mayan0626@163.com。

通信作者:尹建道,博士,教授,主要从事环境生态学、盐碱地改良与植被恢复研究。E-mail:yjd0059@163.com。

问题。模拟结果表明,就单个子流域而言,作物种植结构和种植比例是导致其耗水系数出现不同的原因;对整个灌区而言,由于进入田间的水量约有一半为入渗损失,虽然该部分水量最终能通过地下水进入到河道,并不构成耗水量部分,但从作物高效利用和水资源高效利用的角度出发,可以减少引水量。

参考文献:

- [1] 陈先德,李雪梅,吕光圻. 黄河断流及水资源变化特点[J]. 水利水电科技进展,1999(1):34-37.
- [2] 程进豪,王维美,王 华,等. 黄河断流问题分析[J]. 水利学报,1998(5):75-79.

- [3] 黄伟雄. 跨流域调水与华北水资源的合理配置[J]. 资源科学,2002,24(3):8-13.
- [4] 张会言. 黄河水资源可继续利用与南水北调西线工程[J]. 西北水资源与水工程,2002,13(3):46-49.
- [5] 秦大庸,于福亮,裴源生. 宁夏引黄灌区耗水量及水均衡模拟[J]. 资源科学,2003,25(6):19-24.
- [6] 周鸿文,袁 华,吕文星,等. 黄河流域耗水系数评价指标体系研究[J]. 人民黄河,2015,37(12):46-49,53.
- [7] 王成丽,蒋任飞,阮本清,等. 基于四水转化的灌区耗水量计算模型[J]. 水利学报,2009,40(10):1196-1203.
- [8] 方云花,王丽慧,马元鑫,等. 高原大蒜干物质积累与分配特性[J]. 西北农业学报,2012,21(5):146-150.