doi:10.11988/ckyyb.20161008 2018,35(1):82-85

农业用水效率影响因素及机理分析

黄昌硕,耿雷华,陈晓燕
(南京水利科学研究院 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室,南京 210029)

摘 要:高效利用水资源已成为农业生产亟待解决的问题。为此,根据农业生态系统组成分析,影响农业用水效率的主要因素可以归纳为灌区的自然条件(气候、水资源条件、土壤质地)、灌区条件(包括类型和规模)、作物种植结构、灌溉工程措施、灌水技术、灌区基础设施和节水配套状况、灌区管理水平、经济政策和供水水价等几个方面。不同因素的影响机理是不同的,有些因素是可调控的,有些因素则短期内难以改变。重点分析了各因素对农田灌溉水有效利用系数的影响机理,同时从设施、制度、结构、技术等方面提出了提高农业用水效率的对策措施。

关键词:农业生态;用水效率;农田灌溉水有效利用系数;影响因素;机理
中图分类号:S273 **文献标志码**:A **文章编号**:1001-5485(2018)01-0082-04

近年来,国家颁布了一系列关于严格水资源管理的政策制度,其中国务院于2013年出台了实施最严格水资源管理的相关考核办法,明确将农田灌溉水有效利用系数作为反映各省、自治区、直辖市农业用水效率的关键考核指标。为贯彻落实最严格水资源管理制度,完成国务院下达的考核目标,亟需全面了解影响农业用水效率的主要因素及各因素的影响机理,并在此基础上,通过制定科学的管控措施,进一步提高农业用水效率。

1 影响农业用水效率的主要因素

农业灌溉水在被作物利用过程中,要经过取水、配水、输水、灌水等诸多环节[1],各环节均可能出现效率损失的现象。根据农业生态系统组成分析,影响农业用水效率的主要因素可以归纳为灌区的自然条件(气候、水资源条件、土壤质地)、灌区条件(包括类型和规模)、作物种植结构、灌溉工程措施、灌水技术、灌区基础设施和节水配套状况、灌区管理水平、经济政策和供水水价等几个方面。每个方面又和一些具体的影响因素挂钩,比如:气候条件具体包括年均降水量、年均气温、降水频率、干旱指数等影响因素;水资源和土壤资源状况包括耕地面积、人均耕地面积、当地水资源总量、人均水资源量、人均用水量、农田实灌亩均用水量等影响因素;灌区条件包括井灌面积比、有效灌溉面积等影响因素;灌区节水技术包括大型灌区面积比、节水灌溉面积比等影响因素;经济和政策因素包括人均GDP、农民人均收入、第一产业增加值占GDP比重、水利投资比例、农业支出比例、灌溉投资比例等影响因素。不同因素的影响机理是不同的,其作用方式、持续时间、影响范围和影响程度都有差别,有些因素是可调控的,有些因素则短期之类难以改变。例如区域的气候、水土资源条件、作物种植结构、灌区类型与规模短期内难以改变,而灌区基础设施和节水配套状况、灌溉技术和管理水平短期内可以发生较大变化。在气候温暖湿润地区,降水充足、蒸发小,农业灌溉水量需求就少,反之在气候炎热干燥、降水量少的地区,蒸发强度大,植物蒸腾作用强,导致农业用水产生较大损失,降低农业用水效率;另外完善的灌溉工程措施和管理水平会促进用水效率的提高,低耗水农作物种植比例较高、节水灌溉工程比例较高、小型和井灌区面积比例较高、灌溉管理水平较高的地区,其农业灌溉用水效率一般较高,反之则用水效率低。

2 农业用水效率影响机理

2.1 灌区自然条件影响机理

灌区自然条件主要由气候、水资源、土壤质地因素组成,具有不可选择的特点,因此具有不可调控性。管理者应充分利用当地的自然条件,合理制定灌溉方案,科学化精细化灌溉管理,从而提高当地农业用水效率。

气候条件主要通过影响灌溉方式和灌溉管理模

收稿日期:2016-09-29;修回日期:2016-11-08
基金项目:水利部公益性行业科研专项经费资助项目(201201020);江苏省水利科技项目(2015060)
作者简介:黄昌硕(1980-),女,江苏南京人,高级工程师,博士,主要从事水资源规划与管理方面的研究工作。E-mail:cshuang@nhri.cn

式,进而影响到灌溉用水效率,诸如气温、降水、日照等气候因素均会对农业用水效率产生较大影响,日照时间长、气温高,则会造成植物蒸腾、水面蒸发强烈,最终导致水量消耗较大、用水效率较低。对于不同类型的气候区,由于灌溉水源条件不同,灌溉水有效利用系数也存在差异,干旱地区的农田灌溉水有效利用系数一般比湿润地区高;降水与农田灌溉水有效利用系数往往存在负相关关系,同一地区降水偏丰年份较偏枯年份农田灌溉水有效利用系数低。

区域的水资源条件虽不能直接对灌溉水利用率产生影响,但可通过影响用水和管水行为,进而间接对灌溉水利用率产生影响。水资源条件较欠缺的地区,由于节水意识较强,在节水灌溉技术应用方面存在内在需求,因此农田灌溉水有效利用系数往往较高;而水资源条件或供水条件相对较优越的地区,农田灌溉水有效利用系数反而较低,我国整体上北方各省农田灌溉水有效利用系数高于南方。

土壤固相骨架之间的孔隙具有容纳水分和空气的能力,细小的毛管孔隙可长期持水,而大孔隙中的水分只能短暂停留,很快便将渗漏到根层土壤以下[2]。砂性土壤由于土质粗糙、间隙较大,同时颗粒中所含胶体物质偏少,吸附能力较弱,水流更易于通过,导致保水能力较差。反之,土壤质地越细,渗漏水的流动越慢且不易排水,吸附和保水能力也越强[3]。因此,土层厚实、黏性土壤多的地区,渗漏水损失较小,灌溉水有效利用系数相对较高。

田间持水量与土壤质地关系密切,黏土的田间持水量显著高于砂土,通常可达砂土的 2~4 倍,以容积计算田间持水量一般在0.10%~0.45%之间,详见表 1。

表 1　不同土壤类型的孔隙率和田间持水量[4]

Table 1　Porosity and field moisture capacity of different types of soil[4]

土壤类型	孔隙率/%	田间持水量/%
沙土	0.30~0.40	0.12~0.20
沙壤土	0.40~0.45	0.17~0.30
壤土	0.45~0.50	0.24~0.35
黏土	0.50~0.55	0.35~0.45
重黏土	0.55~0.60	0.45~0.55

2.2　灌区类型与灌区规模影响机理

灌区类型对灌溉水利用效率的影响主要与输水距离、灌溉成本、畦田特征、用水管理等有关。井灌区一般控制规模小、输水距离短,大多采用管道或防渗渠道输水,畦田较平整,规格也较小,灌溉水有效利用系数较高;提水灌区虽然用水管理相对精细,为了引导节约用水,水价较高,但由于灌溉面积往往大于井灌区,在畦田规格、平整度和输配水工程标准等方面相对井灌区较薄弱,导致灌溉水有效利用系数往往低于井灌区;自流灌区一般面积大,取水方便,用水成本较低,灌溉水有效利用系数也相对较低。另外,针对规模较大的灌区,由于渠道长度长、渠系级别多、水工建筑物多,往往操控灵活性较差、用水调度的难度更大。所以尽管大型灌区管理相对规范,但对于规模较小的灌区,由于灌溉范围小、渠系级别少,操控较为灵活、用水调度管理反而具有优势,其渠系水损失可以得到更好的控制,农田灌溉水有效利用系数较大型灌区更高。

一般来说,纯井灌区的灌溉水利用系数高于小型灌区,小型灌区灌溉水利用系数高于中型灌区,中型灌区要高于大型灌区[5]。对于某个区域,灌区类型和规模大致已经定型,但可以根据其影响农业用水效率的机理,对灌区进行配套改造和调整,以提高区域农业用水效率。

2.3　工程措施与灌水技术影响机理

灌区渠道防渗、管道输水等是提高渠系水利用系数的主要工程措施。不同的渠道防渗措施直接影响着渠系水利用系数,防渗效果越好,渠系水利用系数越高。与土渠比较而言,渠灌区渠道若采用塑料薄膜衬砌能降低 80%左右渗漏损失量,若采用混凝土衬砌能降低 70%~75%渗漏损失量,若采用黏土夯实能降低 45%左右渗漏损失量[6]。针对大型灌区渠道防渗可降低 50%~90%渠道渗漏损失,促进渠系水利用系数提升0.2~0.4。

以江西省 2 个灌区(A,B)为样本,分别采用不同防渗措施,并测定渠道水利用系数,结果见表 2。表 2 表明,实施渠道防渗前后以及不同防渗措施的渠道水利用系数相差均较大。

表 2　不同防渗措施的渠道水利用系数[7]

Table 2　Water use coefficient of cannels with different seepage control measures

渠道名称	防渗前每 km 渠道水利用系数/%	防渗措施	防渗后每 km 渠道水利用率系数/%
A 灌区 1 干渠	66.12	浆砌料石,勾缝	95.00
A 灌区 2 干渠	90.91	浆砌料石,勾缝	95.82
B 灌区 1 干 1 支	81.50	现浇混凝土	99.25
B 灌区 1 干 2 支	91.70	现浇混凝土	99.42

采用低压管道输水灌溉方式,具有省地、节水、省工、能耗低等优势,便于机耕和养护管理,同时可以较大程度地降低输水渗漏和蒸发带来的损失,输水效率可达到 95%以上,对于地下水资源超采的井灌区尤其适用,因为降低了输送环节的水量损失,可大幅减少从井中抽取的水量,预计可节省 25%以上的能耗[8]。

畦田整理、喷灌技术、微灌技术、改进地面灌水技术以及非充分灌溉技术等,是提高田间水利用系

数的主要灌水技术措施。土地平整有利于进入土壤的水量和灌水深度的均匀变化,使根区内水分入渗起到较好的一致性,进而提高田间水利用率和灌溉均匀度。畦长和畦宽决定水流在畦面上从首到尾的推进历时,畦田长度越长或单宽流量越小,则推进的时间周期越长,反之亦然。总体而言,畦田变小,水利用系数会显著提高[9]。喷灌方式的优点在于灌水相对均匀,且能结合作物的需水特性,控制好灌溉时点、时长和水量,基本可以避免出现地面径流和深层渗漏现象,大田作物喷灌预计可节省 30%~50%水量[10],农田灌溉水有效利用系数预计超过 85%。微灌可防止棵间深层渗漏和土壤蒸发,田间水的有效利用程度大大提升,较喷灌和地面灌分别节水约 20%和 60%[11],农田灌溉水有效利用系数预计超过 90%。覆膜灌、波涌灌等技术[12]可加快推进水流速度,有助于提高灌水的均匀度,同时缓解深层渗漏,从而大大提升灌溉水利用效率。

2.4 农业种植结构影响机理

不同农作物在各生长期需水量不同,从而影响农田灌溉水有效利用系数,在同等条件下,用水量相对较大的作物,灌溉水有效利用系数相对较低,反之亦然。研究表明,玉米每单位用水量下的产出相对较高,随着其播种面积每增加 1%,相应的农业用水效率反而提高0.02%;而小麦、水稻每单位用水量下的产出相对较低,随着其播种面积的增加,相应的农业用水效率反而逐渐下降。在黄淮豫东平原地区,春夏播作物需水量与降雨量之间的耦合度较高,生产期内降雨量占全年降雨量的比重超过 60%,其中棉花最高,占比达到 82%;其次是春播作物,如高粱、红薯、花生等[13]。

农田种植结构对灌溉水利用系数产生一定影响,一方面,随着灌溉引水减弱,入渗补给地下水量会逐渐减少,导致地下水位下降,地下水埋深增大,田间土壤蒸发降低;另一方面,随着耗水量较大的作物种植面积减小,田间作物蒸腾耗水量降低,作物需水量减小,灌溉水量也随之降低。因此,可结合降水时空分布特点、水资源状况、水利工程情况等,对作物结构布局进行合理调整,优化高效节水型种植结构,适当增加需水量与降水量耦合度较高的作物,尤其是抗旱、水利用率较高的品种,同时对各生产要素的时空配置进行完善,从而切实提高农田灌溉水的有效利用系数。

2.5 灌溉管理水平影响机理

灌区管理主要涉及工程、组织、经营和用水等方面,灌区管理水平也是影响灌区农田灌溉水有效利用系数的主要因素之一。工程运行状况良好,管理水平较高,则农业用水效率也较高,反之较低,灌区可以通过合理配水,优化调度,促进渠道能够平稳引水,尽量缓解输水过程中容易出现的漏水、跑水和无效退水等问题。通过应用计量供水方式,与用水行为挂钩,降低水资源浪费,从而提高灌溉水有效利用系数。华北地区水资源紧缺,土地平整度好,灌溉管理水平较高,其农田灌溉水有效利用系数在全国是最高的;其中自然地理情况相似的河南省与山东省相比,虽然河南省井灌面积大于山东省,但由于山东省整体灌溉管理水平比河南省高,因此,其农田灌溉水有效利用系数也较河南省高。西北地区的甘肃和陕西,尽管水资源较为紧缺,但灌溉管理精细,其农田灌溉水有效利用系数较高;而同区域的内蒙古自治区的大部分灌区灌溉管理粗放、用水浪费,其农田灌溉水有效利用系数明显低于区内其他地区。

相关经济政策和农业水价对农业用水效率的提高起到直接的关键性作用。经济发展水平决定了一个地区是否有足够的经济实力投入到农业用水效率的提高上,经济发达的地区由于具备较强的经济实力,其提高农业用水效率的能力也相对较强。另外,灌溉水利用系数与农业供水价格之间的相关性较强,若供水价格较高,则灌溉水利用系数也相对较高,例如,供水价格每增加0.01元,灌溉水利用系数约可提升0.04[14]。因此,通过提高农业价格,可以增强用水户节水意识,从而有效提升灌溉水利用系数。

3 农业用水效率提升的对策措施

如何增强农业用水使用效率及效益,为农村生态环境改善和经济繁荣发展提供保障和支撑,关键在于以提高灌溉水有效利用系数为目标,从设施、制度、结构、技术等方面多措并举。具体措施包括:

(1) 持续完善灌溉基础设施、发展节水灌溉,灌区基础设施和节水配套是调控农业用水效率水平的重要手段,应该努力建设灌区基础设施,进行相应的节水配套建设,并通过大力发展节水灌溉,提升水资源承载水平,增强农业用水效率。

(2) 科学制定灌溉制度,努力提升灌溉管理水平,通过实施合理的轮灌方案和灌溉制度,在灌溉面积一定的情况下降低灌区总用水量,或在保持引水总量一定的情况下,通过缩短灌水周期,实现灌溉面积最大化,从而提高农田灌溉水有效利用系数。

(3) 不断优化种植结构,结合地下水资源、降水

时空分布特点、水利工程状况等,适当增加需水与降水耦合度较好的作物,以及水分利用率高且耐旱的节水高产型品种的种植比例,充分挖掘农业资源的生产潜力[15]。

(4) 积极推广农业配套技术,在确保取得一定经济效益的基础上,不断加大节水灌溉资源投入,应根据地区自然和社会经济特点,针对性制定节水投资方案和配套的政策管理措施,开发培育节水高产作物品种,积极推广应用节水灌溉技术,逐步提高水资源利用效率和利用效益。

(5) 倡导建立农业用水户协会,通过引导用水户积极参与田间工程建设与灌溉管理,共同营造良好用水秩序,切实提升农田灌溉水有效利用系数。

4　结　语

影响农业灌溉用水效率的原因很多,但主要可以归纳为灌区的自然条件、灌区条件、作物种植结构、灌溉工程措施、灌水技术、灌区基础设施和节水配套状况、灌区管理水平、经济政策和供水水价等几个方面。不同因素的影响机理是不同的,其作用方式、持续时间、影响范围和影响程度都有差别,有些因素是可调控的,有些因素则短期之内难以改变。提高农田灌溉水有效利用系数必须以节水增效为中心,从系统综合的角度采取工程措施、农业措施和管理措施,以实现灌区水资源的优化配置和高效利用,为国民经济和农业可持续发展、农村经济繁荣和生态环境改善提供支撑与基础保障。

参考文献:

[1] 李远华.灌溉用水有效利用系数的影响因素及其提高策略[J].水利水电技术,2009,40(8):113-116.

[2] 冯保清.我国不同尺度灌溉用水效率评价与管理研究[D].北京:中国水利水电科学研究院,2013.

[3] 许建中,赵竞成,高　峰,等.灌溉水利用系数综合测定法[J].中国水利,2004,(7):45-47.

[4] 魏胜利.田间持水量的测定与旱情分析[J].水科学与工程技术,2005,(增 1):53-54.

[5] 冯保清.我国不同分区灌溉水有效利用系数变化特征及其影响因素分析[J].节水灌溉,2013,(6):29-32,35.

[6] 高　峰,黄修桥,王景雷,等.渠道防渗与灌溉用水有效利用系数关系分析[J].中国水利,2009,(3):22-24.

[7] 许建中,赵竞成,高　峰,等.灌溉水利用系数传统测定方法存在问题及影响因素分析[J].中国水利,2004,(17):39-41.

[8] 董进涛,蒋　磊.低压管道输配水系统灌溉技术的应用与发展[J].城市建设与商业网点,2009,(18):115-116.

[9] 李益农,许　迪,李福祥.影响水平畦田灌溉质量的灌水技术要素分析[J].灌溉排水,2001,20(4):10-14.

[10] 黄秀梅.杜集区节水灌溉技术与发展模式探析[J].现代农业科技,2010,(5):244-245.

[11] 黄金鹏,汪本福,周本德,等.基于粮食安全视角的农业节水灌溉技术分析[J].湖北农业科学,2013,52(24):6225-6229.

[12] 王忠新,王明章,李　鹏,等.地面灌溉的新技术方法[J].黑龙江水利科技,2008,36(5):57-58.

[13] 赵利坤,张　英,周垂帆,等.云南高原特色农业节水灌溉技术[J].天津农业科学,2013,19(9):44-47.

[14] 江　煜,王学峰.干旱绿洲区灌溉水价与灌溉用水量关系研究[J].中国农村水利水电,2009,(5):161-163.

[15] 赵　飞.灌溉用水技术效率及其影响因素探讨[J].农业与技术,2015,35(24):50-51.

(编辑:姜小兰)

Influential Factors and Mechanism of Agricultural Water Use Efficiency

HUANG Chang-shuo, GENG Lei-hua, CHEN Xiao-yan

(State Key Laboratory of Hydrology Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

Abstract: The effective utilization of water resources has been an urgent issue to be addressed. According to the composition of agricultural ecosystem, factors affecting the efficiency of agricultural water use can be categorized into natural condition (climate, water resources condition and soil texture), type and size of the irrigation area, crop growth structure, engineering measures and irrigation technology, infrastructure and water saving configuration in the irrigation area, management level, economic policy and water price, etc. The influence mechanisms of these factors are different. Some are controllable, and some are hard to change. The mechanisms of these factors affecting the coefficient of effective utilization of farmland irrigation water are analyzed. Furthermore, measures to improve agricultural water use efficiency are put forward from aspects of facilities, regime, structure and technology.

Key words: agricultural ecology; water use efficiency; coefficient of effective utilization of farmland irrigation water; influence factor; mechanism