

文章编号: 1007-4929(2017)12-0090-04

# 干旱区荒漠植被生态需水量计算方法研究

彭 飞, 何新林, 刘 兵, 张少博, 张叶

(石河子大学水利建筑工程学院, 新疆 石河子 832003)

**摘 要:** 潜水蒸发法和面积定额法是计算植被生态需水量的常用方法, 而目前研究中, 仅运用一种方法进行干旱区生态需水量的计算, 为了解决其计算方法单一、研究结果合理性存在争议, 并确定干旱区荒漠植被合理生态需水量计算方法的问题, 研究以 2013 年塔里木河干流上游区为参考区域, 通过遥感技术解译该地区各荒漠植被的面积, 运用潜水蒸发法和面积定额法计算该区荒漠植被生态需水量, 并计算其相对差值百分比, 且与前人的研究成果进行比较, 结果分别为 54.33%、41.39%、52.78%, 其值皆为 50% 左右, 相差较小, 表明了潜水蒸发法及面积定额法计算干旱区荒漠植被生态需水的合理性, 并通过均值计算确定干旱区荒漠植被合理的生态需水量, 即 2.65 亿  $\text{m}^3$ , 可应用于其他干旱地区荒漠植被合理生态需水量的确定。

**关键词:** 潜水蒸发法; 面积定额法; 荒漠植被; 生态需水; 干旱区

**中图分类号:** S273; X143      **文献标识码:** A

## A Study on Estimation Method for Ecological Water Requirement of Desert Vegetation in Arid Area

PENG Fei, HE Xin-lin, LIU Bing, ZHANG Shao-bo, ZHANG Ye

(College of Water Resources Engineering, Shihezi University, Shihezi 832003, Xinjiang, China)

**Abstract:** Phreatic evaporation method and quota area method are common methods for estimating ecological water requirement of vegetation. In current research, often only one method of estimating ecological water requirement of arid area, phreatic evaporation method or quota area method is applied, and the calculation method is single and the rationality of the research results is disputed. So the reasonable ecological water requirement of desert vegetation in arid area should be obtained in order to solve these problems. In this study, the upper mainstream of the Tarim River in 2013 is regarded as the research area, the remote sensing technique is used to interpret various desert vegetation area, phreatic evaporation method and quota area are used to estimate the ecological water requirement of desert vegetation, and the percentage of relative difference are obtained, then the results are compared with the former research results. The values are 54.33%, 41.39%, 52.78%, respectively. It is indicated that using phreatic evaporation method and quota area method to estimate ecological water requirement of desert vegetation is reasonable; the reasonable ecological water requirement of desert vegetation in arid area, which can be obtained by average value, is  $2.65 \times 10^8 \text{ m}^3$ . So the methods can be applied to estimate the reasonable ecological water requirement of desert vegetation in other arid area.

**Key words:** phreatic evaporation; quota area method; desert vegetation; ecological water requirement; arid area

植被是干旱区生态系统的重要组成部分, 对于自然环境的变迁起着决定性的作用<sup>[1-2]</sup>。而植被的生长需要水资源的支持, 有水即为绿洲, 无水即变荒漠<sup>[3]</sup>。因此, 要维持生态环境的

协调可持续发展, 必须将植被生态需水作为重点研究对象, 满足植被生态需水的要求。

生态需水的概念最早由 Coleick 在 1993 年提出的, 他认为

收稿日期: 2017-07-07

基金项目: 国家自然科学基金项目(51469028); 国家科技支撑项目(2014BAC14B01, 2015BAD20B03)。

作者简介: 彭 飞(1993-), 男, 硕士研究生。主要从事水文水资源方向的研究。E-mail: 852460051@qq.com。

通讯作者: 何新林(1966-), 男, 教授。主要从事水文水资源方向的研究。E-mail: 1461738735@qq.com。

生态需水是保证维持和恢复生态系统健康发展所需要的水量<sup>[4]</sup>。对于目前生态需水定义,多数是以维持现有生态系统功能,遏制其不再继续退化的最小需水量为其生态需水量<sup>[5]</sup>。现阶段,生态需水量的计算方法有以下几种:①面积定额法,此方法适用于计算基础条件较好的植被生态需水量<sup>[3,6,7]</sup>。②潜水蒸发法,此方法适用于计算干旱区依赖地下水生存的植被生态需水量<sup>[1,8-9]</sup>。③水量平衡法,此方法适用于计算大尺度区域的植被生态需水量<sup>[10]</sup>。④基于遥感与地理信息系统的计算方法,此方法适用于长时段尺度的植被生态需水量<sup>[11-13]</sup>。目前,计算植被生态需水量的常用方法为面积定额法及潜水蒸发法<sup>[1,3-4,6-9]</sup>,而以上研究仅通过一种特定方法计算荒漠植被的生态需水量,其研究结果合理性存在争议,且在此前的研究当中,未对面积定额法及潜水蒸发法计算干旱区荒漠植被生态需水量的合理性进行验证且没有一个计算干旱区荒漠植被合理生态需水量的统一方法。为了解决以上问题,本文以2013年新疆塔里木河上游区为例,运用遥感技术提取荒漠植被生长面积,并通过面积定额法与潜水蒸发法进行对比计算,并与前人的研究成果对比分析,验证以上两种方法的合理性,且通过均值计算得到研究区荒漠植被合理生态需水量,以此作为干旱区荒漠植被生态需水量合理的计算方法,为其他干旱区荒漠植被合理生态需水量的计算提供依据。

## 1 荒漠植被生态需水量计算方法

### 1.1 荒漠植被面积提取方法

植被覆盖度( $f_c$ )是指一个地区所有植被(包括叶、茎、枝)在地面的垂直投影面积占研究区总面积的百分比,也是计算荒漠植被面积重要的因子之一<sup>[4]</sup>。植被覆盖度可用像元二分模型进行求解,该模型假设地表上一个像元仅由植被部分与无植被部分组成,并结合归一化植被指数( $NDVI$ )构成以下公式<sup>[4]</sup>:

$$f_c = \frac{NDVI - NDVI_{soil}}{NDVI_{veg} - NDVI_{soil}} \quad (1)$$

式中: $NDVI$ 为各像元的 $NDVI$ 值; $NDVI_{soil}$ 为无植被覆盖时的 $NDVI$ 值; $NDVI_{veg}$ 为完全由植被覆盖的 $NDVI$ 值。

### 1.2 潜水蒸发法估算生态需水量

潜水蒸发法是用某一植被类型在某一地下水位的面积乘以该地下水位的潜水蒸发量及植被系数即可得到该植被的生态需水量,并对各种植被生态需水量求和得到区域植被生态需水总量,此方法为潜水蒸发法<sup>[4]</sup>,计算公式为:

$$W = \sum_i A_i W_{gi} K_c \quad (2)$$

式中: $W$ 为区域植被生态需水总量,  $m^3$ ;  $A_i$ 为第*i*类型植被的面积,  $m^2$ ;  $n$ 为植被种类总数;  $W_{gi}$ 为第*i*类型植被在某一地下水位的潜水蒸发量,  $mm$ ;  $K_c$ 为植被系数,常由实验确定。

其中,潜水蒸发量  $W_{gi}$ 可通过阿维里扬诺夫公式进行求解<sup>[4]</sup>,公式为:

$$W_{gi} = a (1 - h_i/h_{max})^b E_{20} \quad (3)$$

式中: $a$ 、 $b$ 为经验系数; $h_{max}$ 为潜水蒸发极限深度; $h_i$ 为第*i*类型植被的地下水埋深,  $m$ ;  $E_{20}$ 为20 cm小型蒸发皿蒸发量,  $mm$ 。

### 1.3 面积定额法估算生态需水量

面积定额法是用某一植被类型的面积乘以该植被的生态需水定额即可得到该植被的生态需水量<sup>[3]</sup>,对所有植被的生态需水量求和得到区域的植被生态需水总量,计算公式如下:

$$W = \sum_i A_i P_i \quad (4)$$

式中: $W$ 为区域植被生态需水总量,  $m^3$ ;  $A_i$ 为第*i*类型植被的面积,  $m^2$ ;  $n$ 为植被种类总数;  $P_i$ 为第*i*类型植被生态需水定额,  $m^3/m^2$ 。

## 2 实例研究

### 2.1 研究区概况

塔里木河干流上游区为平原地区,东部临近沙雅县,西部紧靠柯坪县,南部与塔克拉玛干沙漠相接,北部起于天山南麓,地理坐标为  $80^{\circ}30' \sim 81^{\circ}58'E$ ,  $40^{\circ}22' \sim 40^{\circ}57'N$ ,地势由西北向东南倾斜,坡降为  $1/200 \sim 1/300$ ,海拔高程为  $1\,041 \sim 1\,000\,m$ ,区域包括农一师七团至十六团等11个子区域,总面积为  $4\,196\,km^2$ ,水资源主要通过塔里木河流域补给。该区域属于暖温带极端大陆性干旱荒漠气候,因此,其降水量少而蒸发量大,并且降雨无法形成有效的地表径流,可忽略不计,地下水依靠侧向补给和灌溉水补给。2013年该区地表水供水量为  $18.8\,亿\,m^3$ 、地下水供水量为  $1.19\,亿\,m^3$ 、再生水供水量为  $0.33\,亿\,m^3$ ,总供水量为  $20.32\,亿\,m^3$ 。在该区气候条件的控制下,分布的荒漠植被种类较少且稀疏,群落结构简单,主要有胡杨、铃铛刺、沙枣、黑果枸杞、盐穗木、花花柴、芦苇、柽柳等等。区域地理位置见图1。

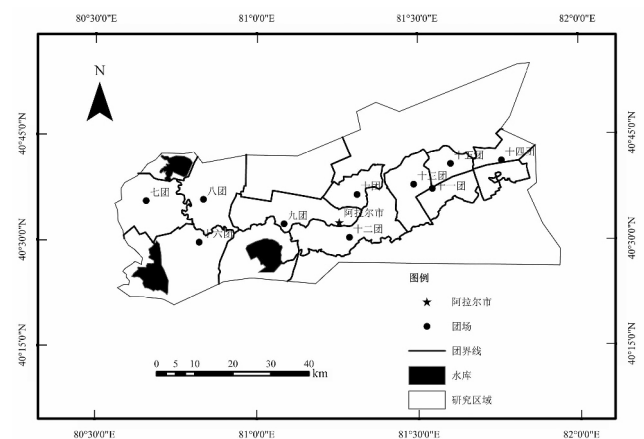


图1 塔河干流上游区地理位置图

### 2.2 塔河干流上游区荒漠植被生态需水量计算

#### 2.2.1 荒漠植被面积提取

本研究所用的遥感图像为LANDSAT8携带的OLI\_TIRS传感器获得的2013年6月30日的数据产品,产品类型为Level 1T地形校正影像。产品分辨率为  $1 \sim 7$ 、9-OLI多光谱波段( $30\,m$ ); 8-OLI全色波段( $15\,m$ ); 10、11-TIRS波段( $30\,m$ )。产品格式为GEOTIFF,采用三次卷积算法取样,投影坐标系为UTM-WGS84,且LI数据产品已经经过系统辐射校正和几何校正。此外还要用到塔河干流上游区矢量边界,其投影坐标系为UTM

-WGS84。

其 NDVI 值可由 ENVI5.2 软件的 SPECTRSL/VEGETATION/NDVI 工具箱进行计算,其中  $NDVI_{veg}$ 、 $NDVI_{soil}$  分别为计算区域内最大及最小 NDVI 值,然而由于噪声的存在,  $NDVI_{veg}$  及  $NDVI_{soil}$  一般取置信度区间内的最大及最小值,其值需根据遥感图像的实际情况进行选取,本研究则取  $NDVI_{veg}$  为 0.61,取  $NDVI_{soil}$  为 0.01,并认为  $NDVI$  大于 0.61 时  $f_c$  取 1,  $NDVI$  小于 0.01 时  $f_c$  取 0,然后运用 ENVI5.2 中的 BAND MATH 工具箱按照公式:  $(b1 \text{ lt } 0.01) \times 0 + (b1 \text{ gt } 0.61) \times 1 + (b1 \text{ ge } 0.01 \text{ and } b1 \text{ le } 0.61) \times (b1 - 0.01) / (0.61 - 0.01)$  进行植被覆盖度计算,在参考相关文献及实地调研的基础上,按照相应等级进行划分,其中灌木植被覆盖度为 0.1~0.15,疏林地植被覆盖度为 0.15~0.2,有林地植被覆盖度为 0.2~0.3,草地覆盖度为 0.3~0.4,如图 2。

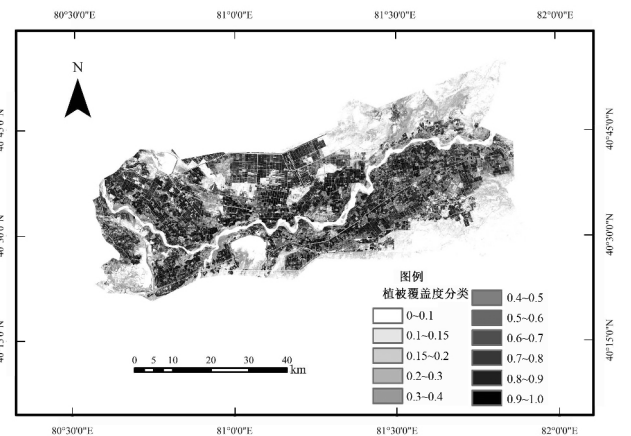


图2 植被覆盖度分类图

通过 ARCGIS10.1 软件分析计算各种荒漠植被的像元个数,并按照各像元数与单个像元大小的乘积得到塔河干流上游区 2013 年各种荒漠植被的面积,见表 1。

表1 不同荒漠植被的像元个数及生长面积

| 植被类型               | 有林地      | 灌木林地     | 稀疏林地     | 草地       |
|--------------------|----------|----------|----------|----------|
| 像元个数/个             | 42 635 6 | 28 223 3 | 42 442 2 | 36 952 2 |
| 面积/km <sup>2</sup> | 383.72   | 254.01   | 381.98   | 332.57   |

2.2.2 潜水蒸发法计算结果

塔河干流上游区降雨稀少,荒漠植被的生长主要依赖于地下水,并在毛细管力的作用下通过植被根系获取水分,即该区植被的实际蒸散量主要是潜水向上转为土壤水供给的,因此潜水蒸发量的大小也决定了土壤水分的多少。当水分在土壤中进行稳定蒸发时,土壤含水量及地表蒸发都趋于稳定,此时,土壤水分通量、土壤蒸散量及潜水蒸发量三者相等,可以此通过潜水蒸发量间接估算植被的生态需水量<sup>[3,7]</sup>。

宋郁东等在中国塔里木河水资源与生态问题研究中提出不同埋深时植物植被系数(见表 2)以及经验系数  $a$ 、 $b$  的值,即 0.62、2.8,因本文研究区亦在塔河地区,因此可直接引用其参数<sup>[14]</sup>;  $h_{max}$  是停止蒸发时的地下水埋深,在干旱区,有植被盖度的区域以 5 m 为限,如果极限地下水深大于其深度,其潜水蒸

发量可近似认为等于 0,这也是目前水文地质计算中普遍采用的值<sup>[9]</sup>,因此取  $h_{max}$  为 5 m; 20 cm 小型蒸发皿蒸发量可取阿拉尔气象站点 1992~2001 年的检测数据,取均值 2 754.02 mm,因该气象站点皆在塔河流域,与本文研究区相近,因此有较高的参照性;  $h_i$  为第  $i$  类型植被的地下水埋深,其值在潜水既不发生强烈的蒸发返盐造成土壤盐渍化,又不低于潜水蒸发极限深度造成土地荒漠化的地下水埋深<sup>[15]</sup> 的范围内,参考多名研究者在塔河地区研究的荒漠植被的地下水埋深<sup>[2,7]</sup>,见表 3。

表2 不同潜水埋深的植被系数

| 潜水埋深/m | 1.0  | 1.5  | 2.0  | 2.5  | 3.0  | 3.5  | 4.0  | 4.5  |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 植被系数   | 1.98 | 1.63 | 1.56 | 1.45 | 1.38 | 1.29 | 1.00 | 0.98 |

表3 不同荒漠植被的地下水埋深 m

| 植被类型  | 有林地 | 灌木林地 | 稀疏林地 | 草地  |
|-------|-----|------|------|-----|
| 地下水埋深 | 2.5 | 3.5  | 4.0  | 4.0 |

根据以上参数,由阿维里扬诺夫公式计算得到各荒漠植被在其地下水埋深时潜水蒸发量的上下限,并由潜水蒸发法模型计算出塔河干流上游区 2013 年各荒漠植被的生态需水量的上下限,见表 4。

表4 不同荒漠植被的潜水蒸发量及生态需水量

| 植被类型                   | 有林地    | 灌木林地   | 稀疏林地  | 草地    | 总计   |
|------------------------|--------|--------|-------|-------|------|
| 潜水蒸发量/mm               | 408.49 | 131.26 | 58.65 | 18.85 |      |
| 生态需水量/亿 m <sup>3</sup> | 1.58   | 0.26   | 0.15  | 0.09  | 2.08 |

2.2.3 面积定额法计算结果

面积定额法估算塔河干流上游区荒漠植被生态需水量的重点在于各植被生态需水定额的确定,因此,生态需水定额的选取可参照郭斌及宋郁东在塔河的研究数据<sup>[3,11]</sup>,并通过面积定额法模型计算得到塔河干流上游区 2013 年各荒漠植被的生态需水量的上下限,见表 5。

表5 不同荒漠植被的生态需水定额及生态需水量

| 植被类型  | 有林地  | 灌木林地 | 稀疏林地 | 草地   | 总计   |
|---|------|------|------|------|------|
| 生态需水定额/<br>(m <sup>3</sup> ·m <sup>-2</sup> ) | 0.38 | 0.18 | 0.18 | 0.18 |      |
| 生态需水量/亿 m <sup>3</sup>                        | 1.46 | 0.46 | 0.69 | 0.60 | 3.21 |

3 计算结果比较

利用本文潜水蒸发法及面积定额法计算出的结果与文献[3]、文献[7]研究结果进行对比分析,分别计算其潜水蒸发法与面积定额法结果相对差值百分比,通过相对差值百分比的比较对研究结果的合理性进行分析,其中文献[3]研究区为塔里木河干流,文献[7]研究区为塔里木河流域下游区,与本文研究区域(塔里木河上游区)相近,计算结果有较强可比性。通过表 6 可知,本文与文献[3]、文献[7]中,在研究范围及研究时间不同的情况下,其潜水蒸发法及面积定额法计算结果的相对差值百分比相近,皆为 50%左右(上下浮动 10%以内),呈规律性,

由此认为本文潜水蒸发法及面积定额法计算结果较为合理。为确定塔里木河上游区合理的植被生态需水量,可将潜水蒸发法及面积定额法计算结果进行平均,即 2.65 亿 m<sup>3</sup>,作为该区荒漠植被合理生态需水量,因此,可将该方法推广应用于其他干旱区荒漠植被合理生态需水量的计算。

表 6 荒漠植被生态需水量研究成果比较

| 成果来源  | 研究范围    | 研究时间   | 面积<br>定额法/<br>亿 m <sup>3</sup> | 潜水<br>蒸发法/<br>亿 m <sup>3</sup> | 相对差值<br>百分比/<br>% |
|-------|---------|--------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------|
| 文献[3] | 塔里木河干流  | 2005 年 | 33.89                          | 23.97                          | 41.39             |
| 文献[7] | 塔里木河下游区 | 2010 年 | 1.10                           | 0.72                           | 52.78             |
| 本文    | 塔里木河上游区 | 2013 年 | 3.21                           | 2.08                           | 54.33             |

4 结果与讨论

(1) 植被覆盖度是计算荒漠植被面积的重要因素,可通过像元二分法进行求解,其模型参数用 ENVI 软件计算处理,并将植被覆盖度分类,最终利用 ArcGIS 软件提取各植被像元个数及面积。从图 2 及表 1 中可以看出,2013 年塔河干流上游区荒漠植被主要沿水体周围分布,有林地及稀疏林地分布面积最广,其中有林地包括人造林地,是保护生态的重要屏障,草地及灌木林地分布面积依次减小,而总体上,研究区域荒漠植被分布面积较广,应注重其天然植被的保护,防止其退化造成生态环境的恶化。

(2) 潜水蒸发法与面积定额法都是计算植被生态需水量常用的方法,而本文以 2013 年塔河干流上游区为研究区,通过以上两种方法进行研究区生态需水量计算,并将结果与前人研究进行对比,验证了潜水蒸发法及面积定额法计算干旱区荒漠植被的合理性,并通过均值计算得到该区荒漠植被的合理生态需水量,可推广至其它干旱区荒漠植被合理生态需水量的确定。

(3) 由于人类活动的作用,如过度开垦耕地、增大农业用水,塔河干流上游区荒漠植被退化,造成生态环境恶化严重,影响了经济及社会的正常发展。保护塔河干流上游区生态环境的安全,首先应确定维持其生态健康稳定的合理的生态需水量,本文基于面积定额法及潜水蒸发法分别得到其荒漠植被生

态需水量,并以均值计算的方法得到塔河干流上游区 2013 年荒漠植被的合理生态需水总量,即 2.65 亿 m<sup>3</sup>,可为该地区进行水资源优化配置提供理论依据及数据支撑,并进一步促进其生态-经济-环境的可持续发展。

参考文献:

[1] 张瑞君,段争虎,谭明亮,等.石羊河流域天然植被生态需水量估算及预测[J].中国沙漠,2012,32(2):545-550.

[2] 王力,崔远来,时元智,等.鄱阳湖流域典型湿地植物需水规律研究[J].节水灌溉,2014,(12):6-9.

[3] 郭斌,王新平,李瑛,等.基于生态恢复的塔里木河干流生态需水量预测[J].地理科学进展,2010,29(9):1121-1128.

[4] COVICH A. Water in crisis: A guide to the world's fresh water resources[M].New York: Oxford University Press,1993.

[5] 周丹,沈彦俊,陈亚宁,等.西北干旱区荒漠植被生态需水量估算[J].生态学杂志,2015,34(3):670-680.

[6] 胡广录,赵文智.干旱半干旱区植被生态需水量计算方法评述[J].生态学报,2008,28(12):6282-6291.

[7] 刘新华,徐海量,凌红波,等.塔里木河下游生态需水估算[J].中国沙漠,2013,33(4):1198-1205.

[8] 王根绪,程国栋.干旱内陆流域生态需水量及其估算——以黑河流域为例[J].中国沙漠,2002,22(2):33-38.

[9] 孙栋元,胡想全,金彦兆,等.疏勒河中游绿洲天然植被生态需水量估算与预测研究[J].干旱区地理,2016,39(1):154-161.

[10] 姜德娟,王会肖,李丽娟.生态环境需水量分类及计算方法综述[J].地理科学进展,2003,22(4):369-378.

[11] 张丽,董增川,徐建新.黑河流域下游天然植被生态及需水研究[J].灌溉排水学报,2002,21(4):16-20.

[12] 卞戈亚,周明耀,朱春龙.生态需水量计算方法研究现状及展望[J].水资源保护,2003,19(6):46-49.

[13] 王芳,王浩,陈敏建,等.中国西北地区生态需水研究(2)——基于遥感和地理信息系统技术的区域生态需水计算及分析[J].自然资源学报,2002,17(2):129-37.

[14] 宋郁东,樊自立,雷志栋,等.中国塔里木河水资源与生态问题研究[M].乌鲁木齐:新疆人民出版社,2000:400-406.

[15] 樊自立,马英杰,张宏,等.塔里木河流域生态地下水位及其合理深度确定[J].干旱区地理,2004,27(1):8-13.

(上接第 84 页)

[8] 胡洁,徐中民.基于多层次多目标模糊优选法的流域初始水权分配——以张掖市甘临高地区为例[J].冰川冻土,2013,35(3):776-782.

[9] 陈艳萍,吴凤平,吴丹.基于模糊优选和 TOPSIS 法的流域初始

水权分配模型[J].河海大学学报(自然科学版),2009,37(4):467-471.

[10] 谢新民,王志璋,王敦河,等.松辽流域初始水权分配中确定政府预留水量的研究[J].中国水利水电科学研究院学报,2006,4(2):128-132.

(上接第 89 页)

[21] 李丰.稻农节水灌溉技术采用行为分析——以干湿交替灌溉技术(AWD)为例[J].农业技术经济,2015,(11):53-61.

[22] 朱萌,齐振宏,罗丽娜,等.基于 Probit-ISM 模型的稻农农业技术采用影响因素分析——以湖北省 320 户稻农为例[J].数理统

计与管理,2016,(1):11-23.

[23] 冯颖.宁夏干旱半干旱地区农户采用农业节水技术意愿的影响因素分析[J].中国农村水利水电,2016,(5):48-54.

[24] 王成福,刘军,朱美玲.新疆农业高效节水灌溉技术长效利用影响因素分析[J].节水灌溉,2017,(4):65-69.