

河西地区黑河流域水资源空间组合与优化利用研究

张勃^{1,2}, 李吉均¹

(1. 兰州大学地理科学系, 甘肃 兰州 730000; 2. 西北师范大学地理系, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 对黑河流域水资源的组成类型和时空分布特征进行了分析, 以降水补给为主的地表径流, 季节变化大, 是作物春季形成“卡脖子旱”的主因。上游山区来水量多年平均无大的变化, 某些时段的偏枯或偏丰是正常水主序列的必然变化过程。但进入下游地区的水确有明显的递减趋势, 制定合理的分水方案势在必行。实施节水灌溉技术, 提高水资源有效利用率, 强化水资源的统一管理, 是实现水资源优化利用的有效途径。

关键词: 黑河流域; 水资源; 优化利用

中图分类号: TV213

文献标识码: A

文章编号: 1008-858X(2001)01-0036-07

1 引言

干旱地区水是决定绿洲发生、分布、发展、变迁的根本原因, 是维系绿洲生存的命脉。水资源的数量、类型、质量和时空分布决定着干旱土地的开发利用方式、规模和绿洲的稳定程度。因此, 干旱区水资源空间组合与优化利用研究显得尤为重要。黑河是河西地区最大的内陆河, 地跨青、甘、内蒙三省(区), 水资源占河西地区水资源总量的 55% 左右。虽然解放以来水资源开发利用程度有了很大提高, 中游地区的绿洲面积扩大, 绿洲生态系统逐渐趋于良性循环, 但也因此而引起了下游绿洲水资源的严重短缺和生态环境的恶化, 直接威胁着国防安全和民族团结。在这里, 水资源的优化利用和合理配置成为急需研究解决的重大科学问题之一。本研究旨在抛砖引玉, 以期引起广大学者的高度重视。

2 水资源类型及时空分布

黑河流域水资源的类型主要有降水资源、冰川水资源、地表水资源、地下水资源等。

2.1 降水资源

降水资源是基本水源, 是水资源的总补给来源。它不仅决定着本区的水分布条件, 还影响着高山地区冰川的发育和山区河川径流的形成、分布与变化规律。总体而言, 南部祁连山区降水多, 北部荒漠地区降水少, 由南部冰川区的 500~700mm 递减到下游额济纳的 38mm (图 1)。

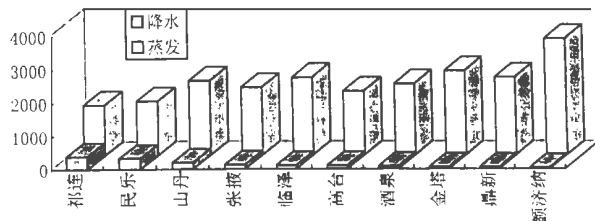


图 1 黑河流域降水、蒸发变化图

Fig 1 Precipitation and evaporation in Heihe valley

2.2 冰川水资源

南部祁连山区发育的现代冰川是本区水资源存在的一种特殊形式, 有天然固体水库之称。据研究^[1], 黑河流域共有冰川 1078 条, 雪线高度 4400~4700m, 冰川面积 420.55km², 冰川储量 136.7 × 10⁸ m³。

收稿日期: 2000-07-12

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目 (4931010)

作者简介: 张勃 (1963-), 男, 西北师范大学地理学副教授。

m³,冰川融水 2.979×10⁸m³/a 冰川融水补给各河的水量相差悬殊,补给量最多的洪水坝河达 34.9%,补给讨赖河的水量占山区径流量的 15.3%,梨园河占 4.8%,黑河占 2.8%,黑河流域平均为 8.3%^[2]。

2.3 地表水资源

地表水资源主要源于南部祁连山径流形成区,其主要补给来源为大气降水和冰雪融水 黑河流域

是西北干旱区较大的一个内陆河流域,流域面积 13.26×10⁴km²,有大小支流 39条,具有供水意义的河流 35条,年平均径流超过 1000×10⁴m³的河流有 24条,集水面积在 100km²以上的有 18条。地表水资源由三部分组成。即有测站控制的河川径流共 10条,占地表径流总量的 89.5%;19条无测站控制的小河小沟地表径流占出山地表径流量的 7.9%;祁连山前山区地表径流量占地表径流总量的 2.6%(见表 1)。

表 1 黑河流域地表水资源总量 (单位:×10⁸m³)

Table 1 Total surface water resources of Heihe valley

	水资源总量		有测站的河流		无测站的河流	前山区河流
	山区	出山口	山区	出山口		
	地表径流量	地表径流量	地表径流量	地表径流量		
黑河干流			16.12	16.12		
讨赖河			6.4	6.4		
大马营盆地	1.3177	0.9689	0.909	0.56	0.1997	0.209
民乐	3.994	3.897	2.157	2.06	1.314	0.523
流域合计	36.832	36.22	33.01	32.40	2.86	0.962

山区地表水资源总量为 36.832×10⁸m³,出山口地表水资源为 36.22×10⁸m³。山区农田灌溉、工业及生活用水及水库调节和渗漏损失量 0.6×10⁸m³,仅占山区地表水资源总量的 1.8%。

地表水资源的时空分布规律,主要取决于补给区大气降水和温度的时空分布及下垫面的性状等。就地表水资源的空间分布而言,南部高山区径流丰富,中部走廊平原区和北部阿拉善高原区及低山区径流贫乏。径流深度由北部山区前缘的 5mm增至南部高山区的 250~400mm³,径流分布规律基本上与降水分布规律相一致,表现出河川径流产流区与径流耗散区分离的特点,即径流几乎全部产生于南部祁连山区,而中部的走廊平原与北部高原、低山、盆地区是最大的径流耗散区,地表径流全部被利用、蒸发和渗漏。地表径流年内分配与降水和冰川融水的年内分配相一致,如黑河干流 6~9月丰水期的径流占年径流总量的 68.3%,1~3月枯水期径流量只占年径流量的 13.2%,最大月径流量是最小月径流量的 11倍。地表径流的多年变化与气温、降水的多年变化有密切关系,大部分河流 C_v 值在 0.15~0.25之间(表 2),大体相当于我国东南部季风区丰水带的 C_v 值,总体上反映黑河流域地表水资源的年际变化是较

为稳定的。根据黑河干流莺落峡站 1944~1995年 52年间观测资料绘制的年径流曲线分析(图 2),可划分出几个丰、枯水循环周期,丰枯水期从 8年到 23年不等,呈现出不固定的周期,总趋势是 50年代丰水期,60年代到 70年代为枯水期,80年代为丰水期,90年代初为枯水期。每个循环期内,年径流变率的 K平均值均接近于正常径流的变率,丰水年组(4~11年)和枯水年组(4~12年)也长短不一,每个丰水年组的 K平均值都大于 1,但不超过正常年径流的 114%,而枯水年组的 K平均值均略小于 1,但变幅不大,均在

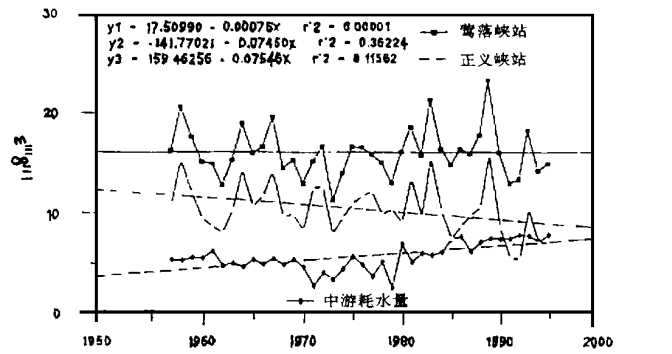


图 2 黑河地表径流变化图(1957~1995)

Fig 2 Changes in surface runoff of Heihe river

正常年径流量的 90% 以上(见表 3) 因此,黑河流域 偏枯或偏丰是正常水文序列的必然变化过程,有关 丰枯水循环交替的周期较短,变幅较小 某些时段的 黑河水资源数量在减少的说法不符合事实

表 2 黑河流域主要河流出山径流的多年 C_v 值
Table 2 C_v values of main river runoffs in Heihe Valley

河流	黑河	梨园河	讨赖河	洪水河	马营河	丰乐河	洪水坝河
测站	莺落峡	利园堡	冰沟	双树寺	红沙河	丰乐河	新地
资料年限	1956– 1995	1956– 1995	1956– 1995	1956– 1995	1957– 1993	1957– 1993	1957– 1994
C_v	0.149	0.195	0.197	0.169	0.282	0.595	0.263

表 3 黑河干流莺落峡站年径流丰、枯循环周期
Table 3 Cycle period of yearly runoff at Yingluo Xia station of Heihe main stream

丰枯水循环周期			丰 水 期			枯 水 期		
起迄年份	年数	K 平均	起迄年份	年数	K 平均	起迄年份	年数	K 平均
1944– 1959	16	1.309	1952– 1959	8	1.134	1944– 1951	8	0.945
1960– 1967	8	1.008	1964– 1967	4	1.113	1960– 1963	4	0.904
1968– 1990	23	1.018	1980– 1990	11	1.107	1968– 1979	12	0.930
1991– 1995	5	0.935				1991– 1995	5	0.935

2.4 地下水资源

同河西其它内陆河一样,地表水与地下水之间存在着极为密切的大数量相互转化关系,构成了河水、地下水、泉水“三位一体”的水资源系统。水量的多次转化必然造成资源的重复(如图 3),因此正确

认识水资源的这种转化与重复,是正确评价地下水资源的前提。黑河干流中游地区地下水资源总量 $16.47 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中与地表水重复量占 80%,不重复量 $3.3276 \times 10^8 \text{ m}^3$,总水资源量为地表径流与不重复地下水之和,即 $36.22 \times 10^8 + 3.3276 \times 10^8 = 39.5476 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

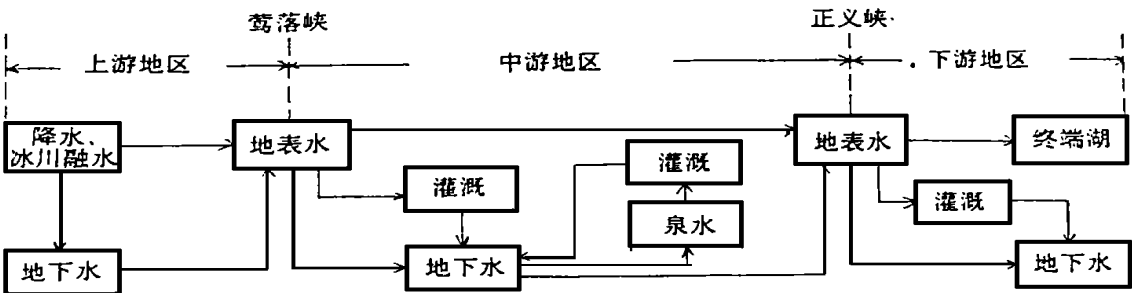


图 3 黑河流域地表、地下水相互转化关系示意图
Fig 3 Trans formation of surface runoff and groundwater in Heihe valley

3 水资源开发利用现状

占流域面积 23% 的上游地区产生了流域 92% 的水量,而占流域面积 77% 的中下游地区则仅产生 8% 的水量。从水资源消耗看,上游山区工农业用水等消耗仅占总量的 1.5%,其余 98.5% 均消耗于中下游地区,其中中游消耗 $25.7596 \times 10^8 \text{ m}^3$,占 64.1%,下游消耗 $13.79 \times 10^8 \text{ m}^3$,占 34.4%。

在现状水利条件下,水资源在利用过程中,部分消耗于蒸发蒸腾,部分将渗入地下,前者属纯消耗,不可复用,而后者则属水量重复,可重复使用。因此最大可利用水资源为水资源总量与可重复利用的水量之和,据估算中游可重复水量为 $8.84 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。据此,中游地区最大可利用的水资源为 $39.5476 \times 10^8 + 8.84 \times 10^8 = 48.3876 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中黑河干流 $34.85 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

据统计,张掖地区 1995 年总用水量 $22.0595 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中用地下水 $2.9412 \times 10^8 \text{ m}^3$,农田灌溉用水 $19.5908 \times 10^8 \text{ m}^3$,林牧业用水 $1.6586 \times 10^8 \text{ m}^3$,城乡居民及工业用水 $0.810 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。1995 年正义峡下泄水量为 $7.049 \times 10^8 \text{ m}^3$,可见中游地区耗水远不止 $22.0595 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。因此,现状用水量的精确估算是客观评价、调配区域水资源的必要前提。尽管地表、地下水互相转化、多次重复利用的客观规律已被揭示,但还缺乏一套精确计算或监测转化过程及数量的成熟方法,地下水动态变化过程、资源数量及最大可利用量等尚不十分清楚,这些问题是需要今后认真研究和解决的重大问题。

黑河流域是一个完整的生态系统,上、中、下游之间存在着相互依存、互相制约的关系,而且往往表现为上游对中下游、中游对下游的依次制约关系,依存关系则相反。水资源的供需和补采失调集中表现为中、下游的用水矛盾,中游绿洲扩大,提高了现行灌溉制度下水的经济利用率,但也造成了整个流域灌区重心溯源上移,下游绿洲因地表水减少而引起区域地下水位逐年下降、植被退化、土地盐渍化、沙漠化等环境问题,1995 年同 1980 年相比,胡杨、红柳、沙枣、梭梭等林地减少了 2%。地表、地下水联合调度、综合开发利用管理模式研究不够,目前,还未形成一套成熟的理论和方法去精确监测在不同的地貌带地表、地下水相互转化及地下水的动态变化过程,势必给地表、地下水资源联合开发调度方案的制定带来不便。基础资料的不可靠和水资源动态监

测手段的落后是影响研究精度的主要障碍,与发达国家所盛行的应用全定位系统 (GPS) 和地理信息 (GIS) 与现代农事操作相结合、进行定时定位农田操作管理的精确农业相距遥远。

4 水资源优化利用

一般而言,一定数量的水资源只能孕育一定面积的绿洲,但水资源开发利用的技术水平对绿洲规模和效益产生深刻的影响。黑河流域水资源开发利用及优化配置,要充分考虑上、中、下游各自不同的水资源特点。上游山区地表径流为 $36.832 \times 10^8 \text{ m}^3$,出山口地表径流为 $36.22 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中张、临、高为 $19.8263 \times 10^8 \text{ m}^3$,民乐 $3.978 \times 10^8 \text{ m}^3$,山丹 $1.3047 \times 10^8 \text{ m}^3$,酒泉盆地 $11.713 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。民乐、山丹二县地表径流虽属黑河水系,但大多流短量小,加上李桥水库、祁家店水库、双树寺水库等中、小型水库的调节作用,已与黑河干流无水力联系,在进行区域水量综合平衡时,不考虑从这两片向邻区或下游输水。酒泉盆地水资源较为丰沛,目前每年消耗 $8.263 \times 10^8 \text{ m}^3$,鸳鸯池水库输水 $3.45 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。黑河干流(含梨园河)多年平均径流量 $18.39 \times 10^8 \text{ m}^3$,1990~1995 年平均工农业用水 $17.82 \times 10^8 \text{ m}^3$ (含地下水),其中农业用水占 98%。出正义峡水量多年平均 $10.364 \times 10^8 \text{ m}^3$,1990~1995 年平均下泄 $7.34 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。如果说黑河土地资源开发还有一定潜力的话,水资源已无潜力,只有跨流域调水一条路,但工程投资巨大,在近期内难以实施。因此目前只有走节水之路,要把节水增效与开辟水源放在同等重要位置,克服过去长期存在的重大水利工程和跨流域调水工程而轻节水技术的思想,把发展节水型农业及社会经济体系作为今后长期的主攻方向。

4.1 实施节水灌溉

4.1.1 节水灌溉技术和节水工程

农业是用水大户,节水潜力最大。目前的节水灌溉技术基本可分为以下几类:渠道防渗技术、低压管道输水技术、喷、滴灌技术、渗灌技术等。从推广实践来看,渠道衬砌由于费用低、技术简单、容易推广,是目前及今后相当时间内节水灌溉的主要工程措施。井灌区的低压管道输水也是今后大力推广的技术之一。但真正实现水资源利用集约化的喷灌、滴灌、渗灌、微喷灌技术大面积推广还存在一定困难,除了体制、水价、管理等因素外,现有技术与国情、区情在一

一定程度上脱节也是重要因素之一。本区乃至在我国,节水灌溉技术应以大田作物应用为主,不能仅仅着眼于高附加值的花卉、蔬菜、水果等生产,否则,节水灌溉就对未来农业发展产生不了应有的作用。

总体来看,黑河流域渠道衬砌率不高,下游额济纳旗几乎无人工防渗输水渠,多利用土渠及天然河沟输水,渗漏率至少在 60% 以上,即便在中游节水工程搞得好的张掖地区,干支渠衬砌率只有 65%,全区灌区渠系防渗衬砌率仅 30% 左右。据临泽测算,全县渠首引水量约 $7.0 \times 10^8 \text{ m}^3$,然而渠系渗漏高达 47%。目前中游地区水资源利用率为 97.1%,全黑河水系为 98.3%,渠系利用系数为 0.5~0.65,若将渠系利用系数提高 0.2~0.3,相当于多开发水资源 $7 \times 10^8 \sim 10 \times 10^8 \text{ m}^3$,面临水资源危机的黑河流域应尽快论证输水渠网化的可能性及具体实施步骤。中、下游天然河道多由第四纪松散沉积物组成,河水渗漏损失惊人,仅正义峡以下河床渗漏损失就在 2~4 亿 m^3 。尽管也有人欣赏山前洪积扇天然地下水库的巨大储水功能,津津乐道于地表—地下水多次重复利用的优越性,甚至不主张衬砌输水渠道,使完全回归自然循环状态。地表水—地下水的多次转化、重复利用,似乎给人们产生可以多用水的印象,如石羊河水系水资源利用率高达 148.7%、山丹河高达 152.4%,但考察各流域水资源净利用率,就会发现总是小于 1,下游重复利用的那部分水要么是河、渠输水损失,要么是田间超量灌溉渗漏损失,其本质还是总水量的一部分。而且,随着水资源存在形式的多次转换和被多次重复利用,水资源无效消耗次数的消耗量也不断增加,地表水、地下水每转换一次,矿化度就升高一次,水质逐渐恶化,这已是不争的事实。且渗入地下的那部分其基本去向很不清楚,目前技术条件下很难进行有效的人工控制和调配。因此,改变水资源多次重复利用模式为一次利用模式,改变天然河道输水为人工高标准衬砌渠道、管道输水,可大大减少无效损失,提高水资源净利用率,保持河流出口时较为优质的水质,以色列输水完全管道、渠道化的成功经验为我们提供了有益的启示。从长远看,黑河必须搞大型骨干水利工程,即便目前财力不济,也应充分认识此项工程的重要性,这是从根本上改变目前的水资源利用模式、提高水资源利用率的革命性措施。

中游地区现有平原水库 24 座,总库容 $0.65 \times 10^8 \text{ m}^3$,虽然这些水库在目前干流上没有骨干调蓄工程的情况下,为解决中游“卡脖子旱”起到了至关重

要的作用,但平原水库的蒸发、渗漏损失巨大,今后在加强完善骨干调蓄工程的同时,要限制平原水库蓄水,并逐步废止。

4.1.2 节水灌溉定额和灌溉制度

黑河流域从 70 年代末就开始了春小麦和玉米等农作物的灌溉试验研究,基本上得出不同地区、不同农作物的最佳灌溉定额的灌溉制度。但多侧重于作物需水量与产量关系的研究,而对不同农作物生理、生态需水机理研究不够,国际上这方面的研究还考虑了气温、积温、蒸发等气象因素。根据多年试验和我们研究^[4],常规灌溉技术条件下,黑河地区春小麦最佳灌溉定额在 $0.45 \sim 0.53 \text{ m}^3/\text{m}^2$ 左右,玉米最佳灌溉定额在 $0.63 \text{ m}^3/\text{m}^2$ 左右,油料、甜菜最佳灌溉定额也在 $0.53 \text{ m}^3/\text{m}^2$,蔬菜的灌溉定额在 $0.68 \sim 0.71 \text{ m}^3/\text{m}^2$,图 4 是根据讨赖河灌溉试验站春小麦灌溉试验资料绘制的春小麦灌水与产量之间的关系曲线,曲线反映出产量并不是随灌水量呈线性增加的,而是增加到一定值后随灌水量增加而减少,其最佳灌溉定额在 $0.53 \text{ m}^3/\text{m}^2$ 。根据上述资料,运用边际分析法(表 4)同样可得出春小麦最佳灌溉定额在 $0.51 \text{ m}^3/\text{m}^2$ 。

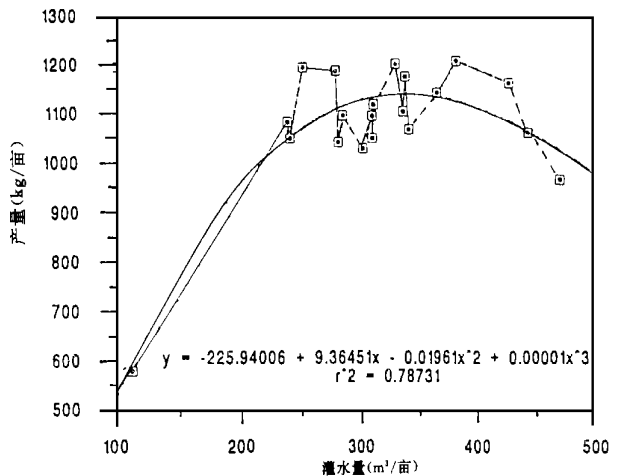


图 4 酒泉绿洲灌溉水量与春小麦产量之间的关系图

Fig 4 Relation between irrigating water and wheat production on Jiuquan oasis

实行节水灌溉的实质,是把有限的水资源集中在作物需水敏感期,使灌溉总体效益最佳。若实行节水灌溉制度,平均每亩耕地节水 50 m^3 ,仅中游就可节水 $2 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。在节水技术的选择上,大田农作物以常规节水灌溉技术为重点,如大畦改小畦,低压管道输水等,按不同作物最佳灌溉制度适时适量灌溉。果树、大棚蔬菜及高附加值的经济作物以推广滴

灌、渗灌、微喷灌等高新节水技术为主。

表 4 黑河流域春小麦最佳灌溉定额边际分析

Table 4 Marginal analysis of optimal irrigation of spring wheat Heihe Valley

灌溉定额 $x(\text{m}^3/\text{亩})$	产量 $y(\text{斤}/\text{亩})$	边际产量 $\Delta y/\Delta x$ ($\text{斤}/\text{m}^3$)	产值 $w(\text{元}/\text{亩})$	边际产值 $\Delta w/\Delta x$ ($\text{元}/\text{m}^3$)	费用 $c(\text{元}/\text{亩})$	边际费用 $\Delta c/\Delta x$ ($\text{元}/\text{m}^3$)	净经济效益 $B(\text{元}/\text{亩})$
0	0						
50	195	3.90	136.5	2.73	1.50	0.03	135.0
100	525	6.60	367.5	4.62	3.00	0.03	364.5
150	772	4.93	540.4	3.46	4.50	0.03	535.9
200	943	3.42	660.1	2.39	6.00	0.03	654.1
250	1046	2.06	732.2	1.44	7.50	0.03	724.7
300	1089	0.86	762.3	0.60	9.00	0.03	753.3
350	1079	-0.20	755.3	-0.14	10.50	0.03	744.8
400	1024	-1.10	716.8	-0.77	12.00	0.03	704.8
450	930	-1.88	651.0	-1.32	13.50	0.03	637.5
500	806	-2.48	564.2	1.74	15.00	0.03	549.2

5 结语

4.2 强化水资源管理

在水资源管理上存在的突出问题是缺乏强有力的流域水资源统一管理权威机构和法规,以致于中下游用水矛盾尖锐化,农用水价格长期偏低,群众采用节水灌溉技术的积极性不高,每亩地水费仅 30 多元,同化肥、农机等投入相比,明显偏低。水利设施难以继,水利产业扩大再生困难重重,灌溉用水浪费严重,农田毛灌溉定额高达 1.50~1.80m³/m²,节水灌溉技术难以推广,由于水价低廉,节约的水费远低于技术实施成本。供水体制没有激励节水的机能,用水管理部门执行的是按方收费,放水少的不但没有奖励,反而连自身的管理费都保证不了,这种体制产生的不良后果是供水部门没有限制用户用水的积极性,对用户来说没有节水压力,从而也就没有应用节水灌溉技术的积极性。水价是科学地调控用水、节约用水的一项关键性措施,以色列严格的用水法律和水资源分配制度值得我们学习借鉴。水也是商品,也要讲求投入产出,要制定区域性水价政策,水费按价值规律逐步调整,应实行配额以内维持低价,超额高价,按方收费,累进加价的政策。这样既能促进农业节约用水,又能保护农民发展节水灌溉的积极性。用户配额以内节约的水,有关水资源管理部门应予以一定的奖励补偿,通过经济手段培养农民的节水意识。

就水资源的空间组合而言,径流形成区与径流耗散区的严重分离,给水资源的管理带来了一定的困难;以降雨补给为主的河川径流季节变化的不稳定性,加大了水资源利用的难度,也是造成中、下游地区用水矛盾的自然原因之一。地表水—地下水互相转化、多次重复利用的水文运动规律及开发利用模式需要加以改变。在节水技术选择上,要坚持因地制宜、因作物制宜。常规节水技术与高新节水技术并举,以常规节水技术为主的方针,重视生态用水,扩大生态用水量。加大对常规节水技术的组装配套和试验推广研究,尽快发挥流域管理局的管理职能,充分运用水资源的经济杠杆作用,统筹协调上、中、下游的用水量和比例关系。今后应重点研究制定切实可行的水价政策和水权分配方案,确定各类生态用水定额,以实现区域水资源的持续利用和生态环境的良性发展。

参考文献:

[1] 杨计娘. 祁连山冰川水资源[J]. 冰川冻土, 1988, 10(1): 36-45
[2] 曲耀光, 马世敏. 甘肃河西走廊地区的水与绿洲[J]. 干旱区资源与环境, 1995, 9(3): 93-99
[3] 陈隆亨, 曲耀光. 河西地区水土资源及其合理开发利用[U]. 北京: 科学出版社, 1992, 120-176
[4] 张勃. 酒泉绿洲农业生态系统水土平衡研究[A]. 资源、环境与农业发展[C]. 北京: 科学技术出版社, 1992, 116-119