

塔里木河流域农业节水潜力综合评价体系研究

马学明^{1,2}, 赵西宁^{1,2*}, 冯 浩^{1,2}, 王玉宝¹, 南纪琴^{1,2}

(1. 西北农林科技大学水利建筑与工程学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 国家节水灌溉杨凌工程技术研究中心, 陕西 杨凌 712100;)

摘 要: 以地处西北内陆干旱地区的塔里木河流域为研究单元, 以流域系列统计资料和野外实际调研为研究基础, 利用层次分析法原理, 考虑到流域社会经济、水文水资源、农业水资源开发利用、农业节水水平及其生态环境对农业节水潜力的影响, 构建了塔里木河流域农业节水潜力评价指标体系和相应评价模型, 并利用评价模型对塔里木河流域的农业节水潜力实现水平进行了评价, 其评价结果表明塔里木河流域农业节水潜力实现水平 2003 年比 1996 提高了 49%, 比 2000 年提高了 17%, 说明该流域随着农业节水措施的实施及节水水平的不断提高, 农业节水取得了一定的成效且农业节水潜力实现水平将越来越高, 目前尚存在较大节水潜力待进一步挖掘。

关键词: 农业节水潜力; 指标体系; 综合评价; 塔里木河流域

中图分类号: S274.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)03-0112-07

塔里木河地处我国西北干旱地区, 流域总面积 102 万 km², 是我国最大的内陆河。随着人口急剧膨胀和经济社会快速发展, 过度垦荒扩大耕地面积和对有限水资源的过度引用以及无序开采, 干旱缺水和生态环境恶化已成为塔里木河流域可持续发展的瓶颈, 农业用水与生态环境用水矛盾十分突出。流域农业用水量约占总用水量 96%, 并且其渠系衬砌率低, 田间灌水粗放, 高耗水作物种植面积偏大, 先进农业灌溉管理体制推行困难, 使用效率和效益极低, 发展节水高效农业已是该流域可持续发展必然选择。正确评价农业节水潜力, 对有效引导流域内节水农业发展方向、促进节水农业生产方式的推广、指导区域农业节水技术的研究以及水资源的有效配置具有重要的理论和实践意义。目前对于节水潜力的评价研究多主要是针对某单一节水技术或节水方案, 而对于流域节水潜力评价缺乏综合的、有机的分析与集成。本文综合考虑流域社会经济、水文水资源状况、农业水资源开发利用、农业节水水平及生态环境等各方面因素对节水潜力的影响, 建立了节水潜力的综合评价指标体系, 并利用层次分析法构建了区域农业节水潜力评价模型, 对塔里木河流域农业节水潜力进行了评价, 来指导流域节水农业的发展。

1 流域农业节水潜力评价指标体系建立

关于节水潜力的概念还没有统一的认识。美国加州戴维斯大学的 David C Davenport 和 Robert M

Hegan^[1]把灌溉取水节水量分为可回收水与不可回收水, 并对其概念作了比较系统的说明。沈振荣等^[2]人在《节水新概念》中提出了“真实节水”的概念, 认为真实节水是节约水量中所消耗的不可回收水量, 包括蒸发蒸腾量、无效流失量以及作物增产部分所增加的净耗水量。裴源生等人^[3]从水资源角度出发, 站在宏观区域角度上, 定量研究水资源所能节约下来的奢侈蒸发蒸腾量, 认为它体现了区域真正的节水潜力。这些全新节水概念的提出为节水潜力的研究提供了新的认识基础和科学理念。传统的节水潜力主要是提高农业用水从水源到作物吸收利用转化为有效水过程中的一次利用率和重复利用率, 来减少各环节的需水量和水量损失^[4], 缓解水资源需求的紧张形势, 解决现实中存在的问题, 包括可回收水量和不可回收水量。而理论上的节水潜力是站在宏观的水资源角度来整体分析区域内减少的不可回收损耗水量, 它只包括不可回收水量。传统节水潜力与理论节水潜力二者在根本上是统一的。流域农业节水潜力是指根据地区的实际情况, 在水资源合理分配和不影响生态环境的前提下, 在可预见期间内, 农业采取可能节水措施后与现状相比, 所节约下来的可以开发利用的潜在水资源量, 其包括可回收水量及不可回收水量。流域农业节水潜力的挖掘必须根据自身的实际情况, 通过合理的可行的节水措施实施来实现, 任何盲目的挖掘其节水潜力都不是节水的根本目的, 在追求经济效益的同时不能以

收稿日期: 2008-11-20; 修回日期: 2009-03-18
基金项目: 国家科技基础性工作专项(2006FY210300); 国家 863 计划项目(2006AA100217); 国家科技支撑计划(2007BAD88B10); 国家自然科学基金(50809055); 教育部重点项目(108182); 西北农林科技大学青年学术骨干项目
作者简介: 马学明(1984—), 男, 甘肃永昌人, 在读硕士, 主要从事节水灌溉方面的研究。E-mail: xiaoma352002@yahoo.com.cn
* 通讯作者: 赵西宁(1976—), 男, 助理研究员, 主要从事水土资源高效利用研究。
(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

环境为代价,必须统筹兼顾,来实现地区的可持续发展。

为了准确评价区域的节水潜力实现水平,就需要合理界定和建立符合区域实际情况的评价指标。流域农业节水潜力的实现水平受到其流域的社会经济发展水平、水文水资源状况、农业水资源开发利用状况、农业节水水平及流域生态环境等因素的影响,这些影响因素决定了地区农业用水的规模大小、节水水平发展高低状况及农业节水方法的合理性等。遵循层次分析法原理,将农业节水潜力评价指标体系分为 3 个层次,第一层为目标层,即农业节水潜力的实现水平(A),第二层为准则层,包括社会经济 B₁、水文水资源 B₂、农业水资源开发利用 B₃、农业节

水水平 B₄ 和区域的生态环境 B₅。第三层为指标层 C_i(*i*=1,2,3...*m*)。

在综合分析相关研究成果基础上,遵循系统性、科学性、可操作性、针对性、动态性的原则,通过理论分析和频率统计,提出若干项具体评价指标^[5~16]。由于各区域社会经济、资源条件、生态环境等方面存在较大差异,尚难建立起各个区域都适用、统一的节水潜力评价指标体系。表 1 仅是一个相对完整的包括与水有关的社会经济、水文水资源状况、农业水资源开发利用状况、农业节水水平及生态环境等各个方面的农业节水潜力发展指标体系,在评价某个地区或流域时,可根据各地区的具体情况在这些指标中选取,组成具体区域的节水潜力评价指标体系。

表 1 流域农业节水潜力综合评价指标体系

Table 1 The integrated indicators system of agriculture water-saving potential in Basin

目标层 Target layer	准则层 Rule hierarchy	指标层 Indicator layer	
流域农业 节水潜力 实现水平 A The realing level of potential of agriculture water saving	社会经济 B ₁ Social economy	人均粮食产量 C ₁ Per capita grain yield	粮食总产量/区域总人口 Total grain yield / Basin total population
		农村居民纯收入 C ₂ Net income of rural residents	见统计年鉴 Reference statistical yearbook
		农业人均产值 C ₃ Per-capita production value of agriculture	农业总产值/区域总人口 Gross agricultural output value / Basin total population
		人均 GDP C ₄ Per capita GDP	GDP/区域总人口 Total GDP / Basin total population
		恩格尔系数 C ₅ Engel coefficient	
		耕地率 C ₆ Cultivated land rate	耕地面积/区域土地面积 Cultivated area/ Land area
		非农业经济比重 C ₇ Nonfam economy proportion	二、三产业 GDP/总 GDP GDP of the second and the tertiary industry / Basin total GDP
		单位面积农业机械拥有量 C ₈ Per hectare possession of agricultural machinery	农业机械总量/耕地面积 Total agricultural machinery / Cultivated area
		水利总投入占 GDP 比例 C ₉ Total water conservancy investment proportion	水利总投资/地区 GDP Total water conservancy investment / Basin total GDP
			
	水文 水资源 B ₂ Hydrology and water resources	单位耕地面积水资源量 C ₁₀ Unit cultivated area water resource	水资源总量/地区总面积 Total resource / The total area in basin
		灌溉水质综合达标率 C ₁₁ Water irrigation reach the standard rate	符合要求的水体总量/当地水资源总量 Meet the requirement water resource / Basin total water resource
		人均用水量 C ₁₂ Per capita water requirement quantity	总用水量/总人口 Total consumption water / Basin total population
		工业用水重复利用率 C ₁₃ Repeated use rate of industrial water	工业取水量/(工业取水量+重复水量) Industrial water / (Industrial water+Repeated use water)
		河流下游径流量占总径流量百分比 C ₁₄ Downstream of the river runoff proportion	下游径流量/总径流量 Downstream runoff / Total runoff
		地下水矿化度 C ₁₅ Groundwater mineralization	
			

续表 1

农业 水资源 开发利用 B ₃ Development and utilization of agricultural water resources		水资源开发利用率 C ₁₆ Utilization ratio of water resources	实际供水量/当地年均水资源量 Practical water supply quantity / Basin total water resource
		地表水开发利用程度 C ₁₇ Surface water development and utilization level	当地地表供水量/当地地表年均水资源量 Surface water supply quantity / Basin total surface water
		地下水开发利用程度 C ₁₈ Groundwater development and utilization level	当地地下水量开采量/当地地下水允许开采量 Groundwater supply quantity / Basin total surface water
		农业用水比例 C ₁₉ Agricultural use water proportion	农业供水/总供水量 Agricultural water supply / Total water supply
		耕地灌溉率 C ₂₀ Irrigation ratio of arable land	农田灌溉面积/耕地总面积 Irrigation area / Total cultivated area
		农田毛灌溉用水定额 C ₂₁ Gross irrigation requirement	农田灌溉用水总量/灌溉面积 Total irrigation requirement / Irrigation area
		单方水农业产值 C ₂₂ Unilateral water agricultural output value	农业总产值/农业总供水量 Gross agricultural output value / Agricultural water supply
		单方水粮食产量 C ₂₃ Unilateral water grain yield	粮食总产量/农田灌溉用水量 Total grain yield / Irrigation water use
		灌溉水利用系数 C ₂₄ Water efficiency of irrigation	
		灌溉保证率 C ₂₅ Irrigation guarantee rate	有效灌溉面积/农田灌溉总面积 Effective irrigation area / Irrigation area
			
流域农业 节水潜力 实现水平 A The realing level of potential of agriculture water saving	农业节水 水平 B ₄ Agricultural water saving level	高耗水作物种植面积比 C ₂₆ High water consumption crops proportion	(粮食作物+棉花)面积/种植总面积 (Grain crops+ cotton) area / Plantation area
		农民用水协会数 C ₂₇ The number water user association	
		抗旱节水优良品种种植面积比 C ₂₈ Water saving and drought varieties crops proportion	优良品种种植面积/播种总面积 Water saving and drought varieties crops area / Plantation area
		器械保墒面积比 C ₂₉ Instruments and moisture conservation area proportion	(深松+早耕)面积/耕地面积 (Subsoiling+early tillage) area / Total cultivated area
		覆盖保墒面积比 C ₃₀ Mulching for soil moisture conservation area proportion	(秸秆+薄膜)面积/灌溉总面积 (Straw+film) area / Irrigation area
		化学保墒面积比 C ₃₁ Chemical moisture conservation area proportion	各种化学保墒措施实施面积/灌溉总面积 Chemical moisture conservation area / Irrigation area
		渠道防渗衬砌面积比 C ₃₂ Canal seepage control area proportion	渠道防渗面积/灌溉总面积 Canal seepage control area / Irrigation area
		管道输水面积比 C ₃₃ Conduit conveyance area proportion	管道输水面积/灌溉总面积 Conduit conveyance area / Irrigation area
		高新节水技术灌溉面积比 C ₃₄ Advanced and new water-saving technology area proportion	(喷灌+微灌)面积/灌溉总面积 (Sprinkler irrigation+ Micro-irrigation) area / Irrigation area
		集雨补灌面积 C ₃₅ Supplementary irrigation with catchment rainfall area proportion	集雨灌溉面积/灌溉总面积 Supplementary irrigation with catchment rainfall area / Irriga- tion area
			
生态 环境 B ₅ Ecological environment		水土流失治理面积比 C ₃₆ The ratio of the soil erosion controlled area	水土流失治理面积/水土流失总面积 The soil erosion controlled area / The soil erosion area
		盐碱化耕地治理面积 C ₃₇ The governance area of the soil salinization farmland	盐碱耕地治理面积/盐碱耕地总面积 The governance area of the soil salinization farmland/ The Total area of the soil salinization farmland
		荒漠化率 C ₃₈ The ratio of the desertification	荒漠化土地面积/总土地面积 The area of the desertification land / The total area of land
		草场退化率 C ₃₉ The degradation rate of rangeland	草场退化面积/草场总面积 The degradation area of rangeland / The total area of rangeland
		植被覆盖率 C ₄₀ The vegetation coverage rate	植被面积/土地面积 The vegetation coverage area / The land area
		河流断流机率 C ₄₁ The probability of the river zero flow	年发生断流天数/全年天数 The days of the river zero flow in one year/ The days of one year
		载畜量变化率 C ₄₂ The change rate of grazing capacity	现状年或规划年载畜量与基准年载畜量之差/基准年载畜量 The difference of the grazing capacity between the present year or the planning year and the base year / The grazing capacity of the base year
			

2 农业节水潜力综合评价数学模型

2.1 指标无量纲化处理

由于评价指标体系量纲不同,指标功能也不同,且指标间数量差异较大,使不同指标在量上不能直接进行比较,必须对统计指标进行无量纲处理。

对于越大越优的指标:

$$x(i,j)=\frac{x^*(i,j)-x_{\min}(j)}{x_{\max}(j)-x_{\min}(j)}$$

对于越小越优的指标:

$$x(i,j)=\frac{x_{\max}(j)-x^*(i,j)}{x_{\max}(j)-x_{\min}(j)}$$

式中, $x_{\max}(j)$ 、 $x_{\min}(j)$ 分别为第 j 个指标值的最大值和最小值; $x^*(i,j)$ 为指标特征值归一化的序列。

2.2 综合评价指标权重的确定

各个评价指标权重的确定在综合评判中占有非常重要的位置,权重的大小对评估结果十分重要,它反映了各指标的相对重要性。其含义为,在纵向上,评价指标权重反映了该指标变化对流域节水潜力变化所起作用的大小;在横向上,评价指标权重表示了该指标在同一评价指标层次中所处的重要地位的衡量,权重确定的合理与否将直接影响评判结果。权重确定的方法较多,如多元统计分析法、模糊方程求解法、层次分析法、专家咨询法等。由于节水潜力影响因素多,因素间相互关系复杂等特点,本文采用层次分析法确定各因素的权重。

2.3 综合效益评价数学模型

$$R=WY$$

式中, $R=(R_1,R_2,R_3,\cdots,R_n)$ 为 n 个水平年综合潜力实现水平评价结果,向量 $W(W_1,W_2,W_3,\cdots,W_n)$ 为第 n 个评价指标的权重向量; $Y(Y_{ij})_{m\times n}$ 为 n 个水平年各评价指标的无量纲化数据矩阵。

3 实例研究

塔里木河气候干旱,降雨极少,蒸发强烈,农业用水占到了总用水量的 96% 以上,其利用效率和效益极低。近年来随着农业的节水发展,其农业节水取得了一定的进展,据不完全统计,近年来流域自治区灌溉面积呈不断扩大的趋势。1996 至 2003 年间总灌溉面积以 1.88 万 hm^2/a 速度递增,其中农田灌溉面积以 0.94 万 hm^2/a 速度递增。而农业用水 2000 年比 1996 增加了 3.2 亿 m^3 ,2003 年比 2000 年农业用水减少了 0.9 亿 m^3 ,这表明新开荒土地的灌溉耗尽了近年来流域开源节流的水量,形成了开源节流—开荒—缺水—挤占生态水的恶性怪圈。违法

开荒也已造成天然植被毁坏、用水局势紧张、原有良田受旱、争水矛盾突出、地下水位下降、沙漠化危害加剧等一系列不良后果,已严重威胁流域生态安全和社会的健康发展^[17]。本文以该流域为例,对其不同水平年的节水潜力实现水平进行了评价,具体评价结构如表 2 所示,根据该流域特点及所收集数据限制,仅选择了 20 个指标。

3.1 计算各指标对总指标的权重

(1) 层次单排序及一致性检验

记 C_i 对 B_i 的权重为 W_j , B_i 对于 A 的权重为 b_i ,构造两两比较判断矩阵求得层次单排序及其一致性检验结果(表 3 至表 8)。

(2) 层次总排序及其一致性检验

由于影响准则层的指标个数不完全相同,因此,应对 B_1,B_2,B_3,B_4,B_5 的排序权重进行加权修正,计算公式为:

$$\overline{b_i}=\frac{n_ib_i}{\sum_{j=1}^n n_jb_j}\tag{4}$$

式中: $n_i(i=1,2,3,4,5)$ 为 B_i 所支配指标个数; $\overline{b_i}$ 为修正后指标对于总指标的权重。

由式(4)可得修正后 B_1,B_2,B_3,B_4,B_5 的权重向量为: $(\overline{b_1},\overline{b_2},\overline{b_3},\overline{b_4},\overline{b_5})=(0.139,0.094,0.325,0.419,0.024)$

记 W'_j 为各 C_i 对于总指标 A 的权重,则由 $W'_j=\overline{b_i}W_j$ 得:

$$(W'_1,W'_2,W'_3,W'_4,W'_5,W'_6)=(0.040,0.039,0.017,0.017,0.017,0.009)$$

$$(W'_7,W'_8)=(0.047,0.047)$$

$$(W'_9,W'_{10},W'_{11},W'_{12},W'_{13},W'_{14})=(0.022,0.099,0.038,0.022,0.105,0.038)$$

$$(W'_{15},W'_{16},W'_{17},W'_{18})=(0.173,0.096,0.052,0.096)$$

$$(W'_{19},W'_{20})=(0.006,0.018)$$

由组合一致性检验公式得:

$$CR^{(2)}=CR^{(1)}+(\sum_{i=1}^5 b_iCI_i^{(2)})/(\sum_{i=1}^5 b_iRI_i^{(2)})=0.048<0.1, \text{满足组合一致性要求。}$$

3.2 节水潜力评价

根据上述各评价指标权重和无量纲化数据矩阵计算塔里木河流域不同水平年农业的节水潜力实现水平,不同水平年在社会经济、水文水资源、农业水资源开发利用、农业节水水平和生态环境方面的评价向量分别记为 R_1,R_2,R_3,R_4,R_5 ,节水潜力实现水平评价向量记为 R ,计算结果为:

$$R_1 = (0.111, 0.113, 0.131),$$
$$R_2 = (0.092, 0.085, 0.083),$$
$$R_3 = (0.280, 0.348, 0.366),$$
$$R_4 = (0.117, 0.305, 0.416),$$

$$R_5 = (0.018, 0.019, 0.019)$$
$$R = WY = \overline{b_1}R_1 + \overline{b_2}R_2 + \overline{b_3}R_3 = (0.164,$$
$$0.265, 0.320)$$

表 2 塔里木河流域农业节水潜力综合评价指标体系

Table 2 The integrated indicators system of agriculture water-saving potential in Tarim River Basin

目标层 Target layer	准则层 Rule hierarchy	指标层 Indicator layer	不同水平年 Different level years		
			1996	2000	2003
流域农业 节水潜力 实现水平 A The realing level of potential of agriculture water saving	社会经济 B ₁ Social Economy	人均粮食占有量(kg/人)C ₁ Per capita grain yield	439.90	458.60	438.20
		农民年均纯收入(元)C ₂ Net income of rural residents(yuan)	1210.00	1290.00	2106.00
		人均 GDP(元) C ₃ Per capita GDP(yuan)	3616.00	4179.00	5352.00
		水利总投资占 GDP 比率(%)C ₄ Total water conservancy investment proportion	4.73	2.77	3.17
		耕地率(%)C ₅ Cultivated land rate	1.15	1.37	1.34
		非农业经济比重(%) C ₆ Nonfarm economy proportion	54.11	62.13	65.02
	水文 水资源 B ₂ Hydrology and water resources	单位耕地面积水资源拥有量(万 m ³ /km ²) C ₇ Water resources per unit cultivated area	4.10	4.21	4.24
		人均水资源占有量(万 m ³) C ₈ Water requirement quantity per capita	0.57	0.47	0.44
	农业水 资源开 发利用 B ₃ Development and utilization of agricultural water resource	水资源开发利用程度(%) C ₉ Utilization ratio of water resources	64.90	65.40	63.90
		农田毛灌溉用水定额(m ³ /hm ²) C ₁₀ Gross irrigation requirement	13815.00	12540.00	11985.00
		灌溉保证率(%) C ₁₁ Irrigation guarantee rate	67.20	65.80	63.80
		农业用水比例(%) C ₁₂ Proportion of agricultural water	99.60	98.03	98.94
		单方水粮食产量(kg/m ³)C ₁₃ Unilateral water grain yield	0.56	0.74	0.84
		耕地灌溉率(%)C ₁₄ Irrigation ratio of arable land	95.60	95.70	97.40
	农业节水 水平 B ₄ Agricultural water saving level	渠道防渗衬砌面积比(%)C ₁₅ Canal Seepage Control area proportion	3.12	48.21	48.03
		高新节水灌溉面积比(%)C ₁₆ Advanced and new water-saving technology area proportion	0.01	1.63	9.41
		高耗水作物种植面积比例(%)C ₁₇ High water consumption crops proportion	89.02	87.11	77.13
		覆盖(薄膜)保墒面积比(%)C ₁₈ Mulching for soil moisture conservation (Film)area proportion	12.21	13.14	14.52
	生态环境 B ₅ Ecological environment	盐碱化耕地治理面积率(%)C ₁₉ The control area of the soil saline farmland	75.23	77.16	72.06
		水土流失治理面积比(%)C ₂₀ The ratio of the soil erosion controlled area	2.41	2.92	3.50

注:数据来源于 1996、2000、2003 年新疆自治区及新疆建设兵团统计年鉴和水利统计年鉴。

Note: The data are from statistical year-books of 1996, 2000 and 2003 of Xinjiang Autonomous Region and Xinjiang Bingtuan.

表 3 判断矩阵 $A-B_j$ 及其特征值

Table 3 The judgment matrix $A-B_j$ and feature values

A	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	b_i
B_1	1	1/2	1/3	1/5	3	0.098
B_2	2	1	1/3	1/4	3	0.132
B_3	3	3	1	1/2	5	0.275
B_4	5	4	2	1	6	0.443
B_5	1/3	1/3	1/5	1/6	1	0.051
$\lambda_{\max}=5.148 \quad CI^{(1)}=0.037$						
$RI^{(1)}=1.12 \quad CR=0.033<0.1$						

表 4 判断矩阵 B_1-C_i 及其特征值

Table 4 The judgment matrix B_1-C_i and feature values

B_1	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	W_{1j}
C_1	1	1/2	3	3	3	4	0.288
C_2	2	1	2	2	2	3	0.282
C_3	1/3	1/2	1	1	1	2	0.121
C_4	1/3	1/2	1	1	1	2	0.121
C_5	1/3	1/2	1	1	1	2	0.121
C_6	1/4	1/3	1/2	1/2	1/2	1	0.068
$\lambda_{\max}=6.1484 \quad CI^{(2)}=0.028$							
$RI^{(2)}=1.24 \quad CR=0.023<0.1$							

表 5 判断矩阵 B_2-C_i 及其特征值表

Table 5 The judgment matrix B_2-C_i and feature values

B_2	C_7	C_8	W_{2j}
C_7	1	1	0.5
C_8	1	1	0.5
$\lambda_{\max}=2.000 \quad CI^{(2)}=0$			
$RI^{(2)}=0 \quad CR=0<0.1$			

表 6 判断矩阵 B_3-C_i 及其特征值

Table 6 The judgment matrix B_3-C_i and feature values

B_3	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}	W_{3j}
C_9	1	1/4	1/2	1	1/4	1/2	0.068
C_{10}	4	1	3	4	1	3	0.307
C_{11}	2	1/3	1	2	1/3	1	0.118
C_{12}	1	1/4	1/2	1	1/4	1/2	0.068
C_{13}	4	1	3	4	1	4	0.324
C_{14}	2	1/3	1	2	1/4	1	0.114
$\lambda_{\max}=6.0590 \quad CI^{(2)}=0.012$							
$RI^{(2)}=1.24 \quad CR=0.0095<0.1$							

评价结果表明,随着流域内农业节水的发展,塔里木河流域农业节水潜力实现水平呈逐渐增长趋势,其中农业节水 2003 年比 1996 提高了 49%,比 2000 年提高了 17%。说明该流域随着农业节水措施的实施及节水水平的不断提高,农业节水取得了

一定的成效且农业节水潜力实现水平将越来越高,目前尚存在较大节水潜力待进一步挖掘。

表 7 判断矩阵 B_4-C_i 及其特征值

Table 7 The judgment matrix B_4-C_i and feature values

B_4	C_{15}	C_{16}	C_{17}	C_{18}	W_{4j}
C_{15}	1	2	3	2	0.414
C_{16}	1/2	1	2	1/2	0.230
C_{17}	1/3	1/2	1	1/2	0.125
C_{18}	1/2	1	2	1	0.227
$\lambda_{\max}=4.0206 \quad CI^{(2)}=0.007$					
$RI^{(2)}=0.9 \quad CR=0.008<0.1$					

表 8 判断矩阵 B_5-C_i 及其特征值

Table 8 The judgment matrix B_5-C_i and feature values

B_5	C_{19}	C_{20}	W_{5j}
C_{19}	1	1/3	0.250
C_{20}	3	1	0.750
$\lambda_{\max}=2 \quad CI^{(2)}=0$			
$RI^{(2)}=0 \quad CR=0<0.1$			

4 结 论

针对西北干旱地区水资源短缺和生态环境恶化并存,借鉴运筹学中的层次分析理论,以定量定性相结合的方法,建立了流域农业节水潜力分析的层次递结模型,经过认真筛选和分析,提出了包括社会经济、水文水资源,农业水资源开发利用,农业节水水平、生态环境五大类共享 41 个指标。分析计算出各指标对总目标节水潜力的权重,建立了综合评价模型,最后通过塔里木河流域实例进行了分析验证。随着节水技术的发展,塔里木河流域的节水农业有了较快的发展,其节水潜力实现水平 2003 年比 1996 年提高了 49%,呈逐年增长趋势,目前尚存在较大的挖掘空间,基本反映了该流域农业节水潜力的实现情况,表明所提理论和数学模型正确。

参 考 文 献:

[1] David C. Davenport, Robert M Hangan. Agricultural water conservation in California, with emphasis on the San Joaquin valley [R]. Davis; Department of Land, Air and Water Resources University of California, 1982.

[2] 沈振荣,汪林,于福亮,等.节水新概念——真实节水的研究与应用[M].北京:中国水利水电出版社,2000.

[3] 裴源生,张金萍,赵勇.宁夏灌区节水潜力研究[J].水利学报,2007,38(2):239—243.

[4] 段爱旺,信乃谕,王立祥.节水潜力的定义和确定方法[J].灌溉排水,2002,21(6):22—25.

Copyright © 1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

[5] 雷 波,姜文来.旱作节水农业综合效益评价体系研究[J].干旱地区农业研究,2006,24(5):99—104.

[6] 何淑媛,方国华.农业节水综合效益评价指标体系构建[J].中国农村水利水电,2007,(7):44—50.

[7] 刘 恒,耿雷华,陈晓燕.区域水资源可持续利用评价指标体系的建立[J].水科学进展,2003,14(3):265—270.

[8] 杨晓华,杨志峰,沈珍瑶,等.水资源可再生能力评价的遗传投影寻踪方法[J].水科学进展,2004,15(1):73—76.

[9] 朱钟麟,陈建康,刘晓军,等.四川丘陵区节水农业效益综合评价指标体系与评价模型[J].山地学报,2007,25(4):483—489.

[10] Faures J M. Indicators for sustainable water resources development [R]. Rome, Italy: Land and Water Development Division, FAO, 1998:1—10.

[11] Loucks D P. Sustainability criteria for water resources system [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1999:33—90.

[12] 阮本青,沈 晋.区域用水水平的多层次灰色关联综合评价模型研究[J].灌溉排水,1997,16(4):22—27.

[13] 周维博,李佩成.干旱半干旱地域灌区水资源综合效益评价体系研究[J].自然资源学报,2003,18(3):288—293.

[14] 来海亮,汪党献,吴涤非.水资源及其开发利用综合评价指标体系[J].水科学进展,2006,17(1):96—101.

[15] 王友贞,施国庆,王德胜.区域水资源承载力评价指标体系的研究[J].自然资源学报,2005,20(4):597—604.

[16] 宋松柏,蔡焕杰,徐良芳.水资源可持续利用指标体系及评价方法研究[J].水科学进展,2003,14(5):647—652.

[17] 孟丽红,陈亚宁,李卫红.新疆塔里木河流域水资源承载力评价研究[J].中国沙漠,2008,28(1):185—189.

Research on comprehensive evaluation system of agricultural water-saving potential in Tarim River Basin

MA Xue-ming^{1,2}, ZHAO Xi-ning^{1,2}, FENG Hao^{1,2}, WANG Yu-bao¹, NAN Ji-qin^{1,2}

(1. College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;
2. National Engineering Research Center for Water Saving Irrigation at Yangling, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Based on statistical information and fieldwork investigation, applying analytic hierarchical process theory and taking the Tarim River Basin as a research unit, this paper established the mathematical model and indicator system for integrated evaluation of agricultural water-saving potential. The indictor system includes five aspects such as socio-economic, hydrology and water resources, agricultural water use efficiency, and the extent of agricultural water-saving development and the ecological environment. The evaluating model and the indicator system are applied to evaluate synthetically the agricultural water saving potential in Tarim River Basin. The evaluation results showed that level of agricultural water-saving potential in 2003 increased by 49% compared to that in 1996, and by 17% compared to that of 2000 in the basin, indicating that with the implementation of the agricultural water-saving measures and continuous improvement of the level of water-saving, the effectiveness of agricultural water conservation has been obtained and the implementation level of agricultural water-saving measures is getting higher and higher, and greater potential leaves for further exploitation in the basin.

Keywords: agricultural water-saving potential; indicator system; comprehensive evaluation; analytic hierarchical process; Tarim River Basin