

井灌区节水农业技术集成综合示范节水效益评价^{*}

——以河北省三河试区为例

裴冬 王振华 张喜英 陈素英 胡春胜

(中国科学院遗传与发育生物学研究所农业资源研究中心 石家庄 050021)

摘要 运用模糊评价方法评价河北省三河试区不同节水技术节水效益结果表明,从直接节水效果、所产生的经济效益和农民的认知程度以及适合当地情况方面综合评价,豌豆+春玉米得分最高,其次为春玉米和春玉米+冬小麦+夏玉米两年三熟制,综合节水模式和综合节水模式节水效益显著。适当调整结构能产生明显的直接节水效益,亦能产生良好的经济效益,简便易行,易为农民所接受。且应用综合节水措施(小畦灌溉+调亏灌溉制度+少免耕秸秆覆盖)效果优于单项节水措施。

关键词 节水效益 评价 综合节水措施

Water-saving effect evaluation of agricultural synthetic technology in well-irrigation fields - A case study from Sanhe agricultural demonstrating fields, Hebei Province .PEI Dong, WANG Zhen-Hua, ZHANG Xi-Ying, CHEN Su-Ying, HU Chun-Sheng(Center for Agricultural Resources Research, Institute of Genetics and Developmental Biology, Chinese Academy of Sciences, Shijiazhuang 050021, China), *CJEA*, 2006, 14(2):180 ~ 184

Abstract Using the fuzzy evaluation method to Sanhe agricultural experiment fields, Hebei Province, the water-saving benefit was evaluated from three ways including direct water-saving effect, direct water-saving economic benefit and social influence. The results indicate that the pattern of pea + spring corn has the highest score, then the pattern of spring corn and spring corn + winter wheat + summer corn, the synthetic pattern and have obvious water-saving benefit. Appropriate adjustment of the agriculture structure can make obvious water-saving effect and economic effect. The results also show that the synthetic pattern (deficit irrigation into little fields + straw mulching + no-tillage) has better economic and water-saving benefit than the single patterns.

Key words Water saving effect, Evaluation, Synthetic water-saving countermeasures

(Received July 25, 2005; revised Aug. 8, 2005)

1 节水效益评价指标的选择与评价方法

节水效益评价需选择合适的评价方法、制定合理的评价体系、确定客观的评价指标和制定合理的评价标准。在节水效益评价诸多影响因素和指标中,有些因素或指标易于量化,可进行定量评价与对比;有些因素或指标难以量化。评价体系和方法应包括定性评价、定量评价与综合评价3部分^[1,2]。节水效益包含了节水产生的直接效益、间接效益、外部效益和长远效益。本研究节水效益评估指标包括直接节水效果,即通过农田水分利用效率、灌溉用水总量、灌溉定额、灌溉水利用率等指标反映井灌区节水农业技术集成综合示范节水项目实施前后的变化,评价各项措施应用产生的节水效果;节水的经济效益,即通过单位耗水的经济产出、灌溉水的净效益、单位面积净效益等反映项目实施前后的变化,对各项措施应用产生的经济效益进行评价;社会效益,即通过项目实施前后当地居民节水意识的变化、节水措施的应用情况来反映项目在当地的影响,根据节水方式选择的可靠性、适应性、农民接受程度和产投比评价各项节水措施是否得当、是否产生了社会影响,并从节水灌溉工程的管理、维护、运行等方面评价项目实施对当地节水管理产生的影响。

评价方法。收集项目实施前各项资料以及项目实施后各因素的变化情况,能定量的用定量指标,不能

* 国家高技术发展(863)计划项目“华北半湿润偏旱井灌区节水农业综合技术体系集成与示范”(2002AA2Z4231)资助

定量的用定性指标,有些资料通过公众调查、发放问卷、座谈会等形式收集。资料力求客观、公正、真实。采取对比分析法和模糊综合评价方法,首先列表表明项目实施前后各因素的变化情况,根据各因素的变化程度和变化趋势,评价各项节水措施的应用效果和未来发展变化趋势;之后采用模糊综合评价方法,通过评价指标分级和确定指标权重,综合评价各项节水措施。本项目评价因素组成见图 1。

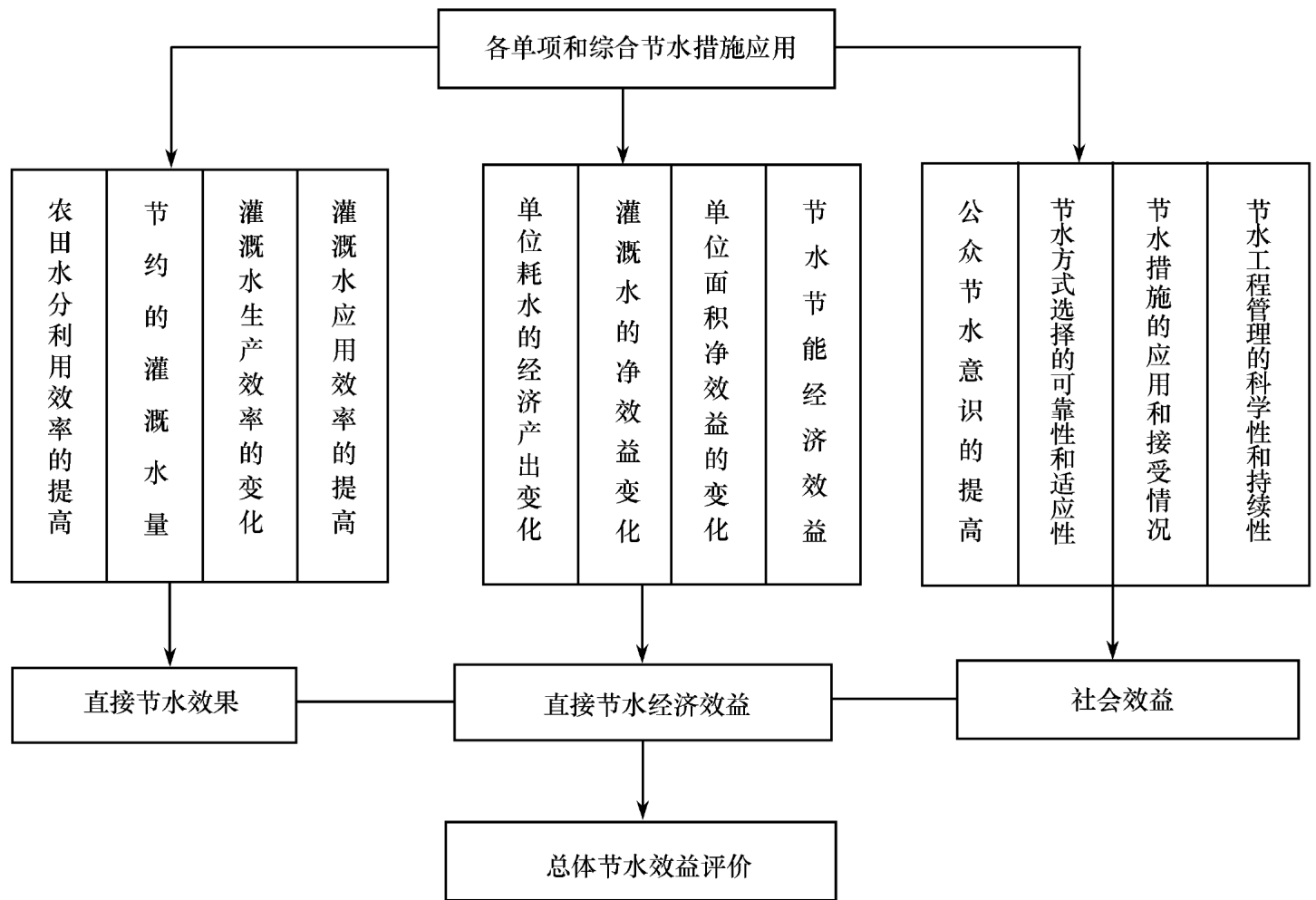


图 1 三河项目区节水项目实施前后节水效益总体评价图

Fig. 1 General chart of evaluation to water-saving effect in Sanhe agricultural demonstrating fields before and after the program performed

2 三河试区节水效益评价

2.1 项目实施对各节水效益影响的评价

各项节水措施直接节水效果。节水农业的核心是提高整体水资源利用效率和效益,针对井灌区地表水资源少、灌溉水主要依赖地下水的现状,本研究主要节水技术的应用是以最大限度利用降水资源,充分调控降水和灌溉水转化形成的土壤水,提高农田水分利用效率,减少灌溉水用量。形成的节水模式基本思路是通过建设适水型节水农业结构,压缩耗水量大的作物比例,增加节水型、高效益作物种植比例,提高水分生产的经济效益和产量效益;集成以低压管道、小畦灌溉、优化灌溉制度、秸秆覆盖保墒等经济实用性技术为主体的良田综合节水技术模式。由表 1 可知,项目区所用主要单项农艺节水技术水分利用效率均比常规冬小麦 + 夏玉米有所提高,特别是冬小麦 + 夏玉米实施全程秸秆覆盖和进行调亏灌溉后,水分利用效率分别比常规管理提高 8% 和 15%,灌溉水用量分别减少 65mm 和 80mm,节水效果非常明显。通过压缩耗水量大的小麦种植面积,发展豌豆、春玉米等作物的节水型种植结构,虽总体经济效益有所下降,但节水效益非常

表 1 各单项节水措施产生的直接节水效益分析*

Tab. 1 Analyse of direct water-saving benefit by the single water-saving measures

措施名称 Measures	处理 Treatments	产量 $t \cdot hm^{-2}$ Yield	水分利用效率 $kg \cdot m^{-3}$ Water use efficiency	产值 $元 \cdot hm^{-2}$ Production value	水分经济效益 $元 \cdot m^{-3}$ Economic benefit	灌溉用水量 mm Amount of irrigation
对照	冬小麦 + 夏玉米	15.4	1.94	18966	2.39	305
种植结构	豌豆 + 春玉米	11.9	2.13	18383	3.29	188
改变	春玉米	9.9	2.69	10842	2.68	75
	春播棉	3.0	0.63	15000	3.12	75
	苜蓿	15.4	2.67	12300	2.13	75
	春播棉 + 冬小麦 + 夏玉米	9.0	1.40	16706	2.61	175
	春玉米 + 冬小麦 + 夏玉米	13.3	2.33	15677	2.74	156
秸秆覆盖	冬小麦 + 夏玉米秸秆覆盖	15.7	2.04	19335	2.51	270
	(冬小麦 + 夏玉米)全覆盖	15.3	2.10	18842	2.59	240
调亏灌溉	冬小麦调亏 + 夏玉米	15.8	2.17	19458	2.67	240
	(冬小麦 + 夏玉米)调亏	15.9	2.23	19581	2.69	225

* 表中数值以年为周期计算,表 2 同。

明显,豌豆 + 春玉米田间总灌溉用水量为常规冬小麦 + 夏玉米种植方式的 62%,春玉米 + 冬小麦 + 夏玉米两年三熟制田间总灌溉用水量为常规种植方式的 51%。除上面主要节水农艺技术外,通过引进和筛选节水、高产、优质的品种,从生物本身提高农田水分

利用效率,在示范区引进推广的夏玉米、春玉米和冬小麦新品种比当地原有品种产量、水分利用效率分别提高 8% ~ 10% 和 9% ~ 13%,在相同产量下相当于节约灌溉水量 60 ~ 80mm,该节水措施不需增加任何投资。在工程节水方面,根据当地情况,大田作物选择了低压管道 + 小畦灌溉减少输水损失,提高灌溉均匀度,实际测定结果显示,低压管道可减少 24.4mm 田间输水损失,虽然渠道输水损失的水量可部分入渗到土壤,回补地下水,但可降低取水费用和渠道水分蒸发损失。在示范单项节水技术基础上,本研究用不同技术集成了适合不同条件应用的小麦-玉米节水模式,各模式节水效果见表 2,综合模式并非各单项节水效果的叠加,

表 2 粮田综合节水技术集成模式直接节水效果

Tab 2 Direct water-saving effect of crop field by the synthetic water-saving measures

节水技术 Measures	低压管道 Underground pipe	地面闸管 Pipe on the ground	麦秸覆盖 Straw mulching	玉米秸秆 少耕覆盖 Corn straw mulching and a little tilth	少耕覆盖深松 A little tilth and deep scarification	调亏灌溉 Regulate deficit irrigation	减少灌溉水量 mm Reduction amount of irrigation
模式							110
模式							60
模式							150
模式							140

但各节水技术的综合应用比单项节水技术节水效果好,如通过低压管道输水、闸管加小畦灌溉、冬小麦夏玉米全程秸秆覆盖和调亏灌溉制度可减少 150mm 灌溉水量,相当于生育期两次灌溉水量。调亏灌溉不仅能产生节水效应,且具有增产效应。

各项节水措施经济效益分析。各项节水措施产生的经济效益可从节水带来的取水投入减少、灌溉劳力投入的减少、节水技术应用带来的单位耗水收益的变化等几方面反映。通过对 10 村 30 户农户调查所得冬小麦夏玉米农业生产成本见表 3。根据表 3 各项成本,

表 3 项目区 10 村 30 户随机农户调查平均农业生产成本

Tab .3 Average agricultural product cost of 30 families in 10 villages

项 目 Items	生产成本/ 元·hm ⁻² Product cost						合计 Total
	灌溉 Irrigation	施肥 Fertilizer	农药 Pesticide	种子 Seed	耕作 + 播种 Cultivation + sowing	收获 Harvest	
冬小麦	831.0	1411.5	153.0	549.0	804.0	450.0	4198.5
夏玉米	456.0	1387.5	103.5	360.0	249.0	150.0	2712.0
总 和	1287.0	2799.0	256.5	909.0	1053.0	600.0	6910.5

对项目区各节水技术应用后产生的经济效益进行计算见表 4。由表 3 可知农业生产过程中肥料投入占整个农业生产成本的 34% (冬小麦)和 51% (夏玉米),其次是灌溉,分别占 20% 和 17%,耕作 + 播种费用占 19% 和 9%。项目区推广的节水技术中包括少免耕覆盖和减少冬小麦播种量技术,并与其他节水技术结合。目前农村中农业生产的劳力投入基本来自自己的家庭,在计算经济效益时未包含劳动力成本。表 4 表明单项

表 4 各节水技术经济效益分析*

Tab 4 Analyse of economic benefit by different water-saving measures

节水技术 Water-saving measures	总效益 元·hm ⁻² Total benefit	水分生产效益元·m ⁻³ Production benefit of water	灌溉水量 mm Irrigation amount	灌溉成本元·hm ⁻² Irrigation cost	净收益元·hm ⁻² Net economic benefit
豌豆 + 春玉米	- 553.5	+ 0.90	- 117	- 324.1	+ 1399.5
春玉米	- 8094.0	+ 0.29	- 230	- 637.1	- 3339.0
春播棉	- 3936.0	+ 0.73	- 230	- 637.1	- 861.0
苜蓿	- 6636.0	- 0.26	- 230	- 637.1	- 361.5
春播棉 + 冬小麦 + 夏玉米	- 2230.5	+ 0.22	- 130	- 360.1	- 693.0
春玉米 + 冬小麦 + 夏玉米	- 3259.5	+ 0.35	- 149	- 412.7	- 844.5
秸秆覆盖玉米	+ 369.0	+ 0.12	- 35	- 97.0	+ 395.5
秸秆覆盖玉米 + 小麦	- 124.0	+ 0.20	- 65	- 180.1	- 50.0
调亏灌溉冬小麦	+ 492.0	+ 0.28	- 65	- 180.1	+ 1028.1
调亏灌溉冬小麦 + 夏玉米	+ 615.0	+ 0.30	- 80	- 221.6	+ 1564.8
综合节水模式 1	+ 1113.0	+ 0.21	- 110	- 304.7	+ 1642.7
综合节水模式 2	+ 270.0	+ 0.13	- 60	- 166.2	+ 361.2
综合节水模式 3	+ 1320.0	+ 0.23	- 150	- 415.5	+ 1960.5
综合节水模式 4	+ 1218.0	+ 0.21	- 140	- 387.8	+ 1881.8

* 表中数值为与常规冬小麦 + 夏玉米对比, + 表示增加, - 表示减少。

和综合节水技术经济效益均很明显,特别是进行种植制度调整后,虽然总产量降低引起总收益减少,但结构调整不仅节约了灌溉水,减少了灌溉成本,且减少了种植管理成本,如表 3 显示冬小麦不计劳动力投入的成本接近 4200 元/ hm²,两年三熟减少 1 季冬小麦就等于节约投资近 4200 元/ hm²。种植豌豆的成本仅为冬小麦的 1/ 2,玉米 + 豌豆种植方式虽总收益有所减少,而节省的生产投入完全可弥补这种损失,再加上节水效应,该种植结构经济效

益最优。其次是通过综合节水措施,把少免耕秸秆覆盖、调亏灌溉制度和低压管道 + 小畦灌溉的农艺和工程节水措施相结合,在常规冬小麦 + 夏玉米种植方式下也能取得明显经济效益,比单项节水措施经济效益更突出。

社会影响评价。节水效益评价不仅要看节水产生的直接影响如节约多少水量、增加多少经济收入,且通过项目实施对当地节水意识的提高、节水政策法规的健全和节水管理制度的建立而保证节水农业持续健康的发展也是项目实施后节水效益评价指标的重要方面之一。通过提高示范区农户用水效率意识,促进有效、合理的水资源利用。表 5 表明示范区公众对节水的重要性、节水技术等认识都有提高,这些软环境的改善对项目在示范区的顺利实施提供了必要基础。示范区大田作物灌溉方面采取了节水的地下管道加小畦灌溉方式,这种节水灌溉方式是通过充分征求公众意见后采取的,调查中 83% 的人希望用这种节水、投入少、管理方便的节水灌溉方式对大田作物进行灌溉,经济作物适当考虑微灌。从社会系统因素的变化可以看出,项目实施提高了示范区公众对节水的认识,并应用参与式方式进行决策,充分调动公众参与,产生了良好社会效益。

表 5 三河试区项目实施对当地节水意识的影响 *

Tab 5 Effect of the performed program on the water-saving consciousness in Sanhe agricultural demonstrating fields

调查因子 Investigation factor	实施前 Before program performed	实施后 After program performed	变化程度 Change
对节水技术的了解/ %	15	87	72
对节约水资源必要性的认识/ %	32	89	57
是否愿意多花时间节水/ %	21	64	43
科学决定灌溉时间和灌溉量/ %	3	81	78
愿意参加节水技术培训/ %	52	87	35

* 表中数值为随机 30 户农户调查结果。

2.2 不同节水技术节水效益综合评价模型

不同节水措施在节水量、水分生产效率、水分生产效益、产值和经济效益方面存在差异,评判比较不同节水措施的效果需综合考虑各种影响结果。由于各种节水措施的节水效果既有定量指标,也有定性指标,本研究选用模糊综合评价数学模型进行模糊评判。模糊综合评价法可实现定向和定量方法的有效集合,可解决判断的模糊性和不确定性。应用模糊综合评价方法首先确定被评判对象因素(指标集)和评价集,再分别确定各个因素的权重,最后得到模糊评价综合结果。各单项和综合节水技术措施的评判因素见图 1,各评判因素的分级标准见表 6。考虑到节水措施的应用既要产生直接节水效果,也要增加农民收入,并在应用过程中能产生社会效益,农民容易接受,适合当地情况,并能持续下去。因此与当地常规情况(对照,冬小麦 + 夏玉米)比较某项节水措施应用后总用水量变化、灌溉量变化、水分利用效率变化可反映其节水效果,纯收入变化、水分生产效益和生产成本的变化反映某一措施产生的经济效益,从农民接受情况、措施推广难易程度和所需配套措施以及产品市场前景等来评判某一节水措施的社会效应。指标权重的确定根据各评判因素对节水效益影响程度的大小,并参照专家意见分别赋予不同的权重(见表 6)。根据表 6 评判指标分级评价得分值和权重对三河试区所采用的各项节水措施进行模糊评判结果见图 2,从直接节水效果、所产生经济效益和农民的认知程度及适合当地情况方面的综合评价可知豌豆 + 春玉米得分最高,其次为春玉米和春玉米 + 冬小麦 + 夏玉米两年三熟制,综合模式 和综合模式 的节水效益也很明显。该结果表明通过适当结

表 6 不同节水措施节水效益评价指标及其分级值与权重

Tab 6 Evaluation of water-saving benefit, classification and weight by different water-saving measures

评价指标 Index of assessment	赋予权重 Weight	分级值及得分 Classification and scores				
		V1(0.9)	V2(0.7)	V3(0.5)	V4(0.3)	V5(0.1)
水分利用效率增加/ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	0.15	> 0.6	0.6 ~ 0.45	0.45 ~ 0.3	0.3 ~ 0.15	< 0.15
年总耗水量减少/ mm	0.10	< 300	300 ~ 225	225 ~ 150	150 ~ 75	< 75
灌溉水用量减少/ mm	0.10	< 300	300 ~ 225	225 ~ 150	150 ~ 75	< 75
水分生产效益增加/ $\text{元}\cdot\text{m}^{-3}$	0.10	> 0.8	0.8 ~ 0.6	0.6 ~ 0.4	0.4 ~ 0.2	< 0.2
纯收益增加/ $\text{元}\cdot\text{hm}^{-2}$	0.15	> 2000	2000 ~ 1000	1000 ~ 0	0 ~ 1000	< - 1000
生产成本减少/ $\text{元}\cdot\text{hm}^{-2}$	0.10	> 6000	6000 ~ 4000	4000 ~ 2000	2000 ~ 0	< 0
农民欢迎(接受)程度	0.10	> 80%	80% ~ 60%	60% ~ 40%	40% ~ 20%	< 20%
推广应用难易程度	0.10	很容易	容易	一般	难	很难
适应性、持续性	0.10	很好	好	一般	不好	很不好

构调整不仅能产生明显的直接节水效益,也能产生良好的经济效益,而种植结构调整不需复杂的配套措施和投入,简便易行,易为农民接受。在农民普遍种植的冬小麦和夏玉米种植结构条件下,应用综合节水措施(小畦灌溉 + 调亏灌溉制度 + 少免耕秸秆覆盖)等也能取得明显节水效益,比单项节水措施的应用效果更好。综上所述,若追求粮食高产,在水资源相对丰富地区,在实

施综合节水条件下,可采用冬小麦-夏玉米 1 年 2 作模式;在水资源相对紧缺、兼顾国家粮食和供水安全情况下,可减少耗水量大的冬小麦种植面积,采用 2 年 3 熟种植模式,可节省 50% 的灌溉量;1 年 1 作模式适于经济较发达、水资源较紧缺且水资源价值高的北京和环京地区。

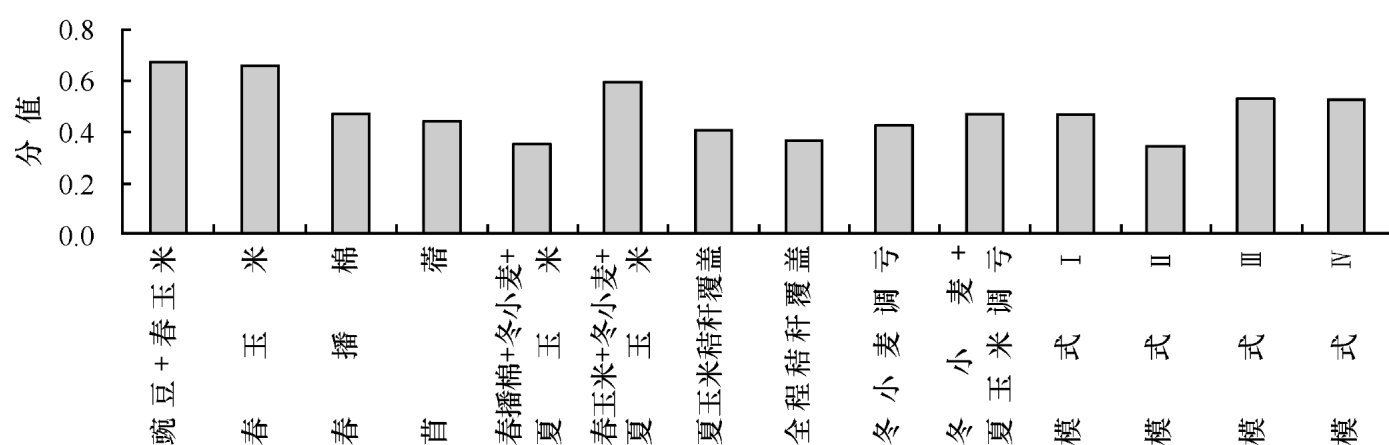


图 2 三河试区不同节水措施节水效益模糊评判结果比较*

Fig 2 Comparison of results from fuzzy evaluation of benefit by different water-saving measures in Sanhe agricultural demonstrating field

* 以常规冬小麦+夏玉米为对照。

3 小 结

从三河项目示范区节水效果比较可知,通过各种节水技术的集成、组装配套,从单一技术到工程、农艺和管理综合,对提高项目区水分利用效率起到了明显促进作用。节水项目实施后节水效益评估需从直接节水效果、节水产生的经济效益及社会影响方面评价项目实施对当地产生的影响,基于此建立的节水技术效果评估模式从直接节水效果、产生的经济效益和社会影响 3 方面综合考虑,可通过综合评价不同节水效果产生的效益为推广应用提供可靠依据。

参 考 文 献

- 1 严 玲,尹贻林.公益性水利工程项目经济评价方法评述.水利水电技术,2003,34(5):36~38
- 2 李铁军,李晓华.日本有关水保生态环境效益的评估.水土保持科技情报,2002(4):44~45