

北方旱作区节水农业综合效益评价研究

——以山西寿阳为例

雷 波^{1,2}, 姜文来²

(1. 国家节水灌溉北京工程技术研究中心, 北京 100044; 2. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081)

摘 要: 从旱作节水农业综合效益的基本内涵分析入手, 初步构建了旱作节水农业综合效益评价体系, 并利用层次分析法对山西寿阳旱作节水农业综合效益进行了评价。

关键词: 旱作; 节水; 综合效益; 评价

中图分类号: F323.213 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2008)02-0134-05

我国北方旱作区分布在我国昆仑山脉、秦岭、淮海以北广大地区, 覆盖我国 17 个省、直辖市、自治区的全部和部分范围, 约占我国土地总面积的 56%, 耕地面积的 51%^[1], 是许多大宗粮食作物和经济作物的重要生产基地, 在我国农业中占据着重要的地位。然而, 长期以来, 水资源短缺成为北方旱作区农业可持续发展的重要制约因素。而节水农业因其节水、高效和可持续等特点成为北方旱作区克服水资源短缺, 实现农业可持续发展的必然选择。在北方旱作区发展节水农业必须兼顾两个基本目标: 节水抗旱和高产。在此基础上, 还必须发挥农业的多功能性。所谓农业功能是指农业产业在一个国家或地区所起的作用^[2]。现代农业是一个多功能产业, 除了具有生产的经济功能外, 同时还具有生态、社会、政治等多方面的非经济功能^[3]。旱作区节水农业综合效益实际上就是农业多功能在旱作区节水农业的推广过程中的具体体现, 衡量旱作区节水农业的综合效益必须考虑其经济功能、生态功能和社会功能给地区和社会所带来的经济效益、生态效益和社会效益及其综合。正确评价旱作区节水农业效益, 能有效引导区域节水农业发展方向, 促进旱作区节水农业生产方式的推广, 指导旱作区节水农业技术的研究以及掌控区域农业可持续发展状况。

1 旱作区节水农业综合效益评价及其体系

1.1 旱作区节水农业综合效益评价

旱作节水农业综合效益评价不仅评价其经济效益, 还包括社会效益、生态效益及其综合问题, 是一

个多目标综合评价问题, 其基本方法是通过构建合理的评价指标体系, 利用多目标综合评价方法来评价区域实施旱作节水农业的综合效益的程度^[4]。

1.2 评价体系

旱作节水农业综合效益评价体系应该包括四个部分, 即评价模型、评价指标体系、多目标综合评价方法和评价。

1.2.1 评价模型 旱作节水农业综合效益评价是一个多目标综合评价问题。其评价的基本数学模型可以表述为:

$$R = \sum_{i=1}^3 a_i \left[\sum_{j=1}^n a_{ij} \left(\sum_{k=1}^n a_{jk} R_{jk} \right) \right]$$

式中, a_i , a_{ij} , a_{jk} 分别为准则层、准则亚层和指标层不同指标团或指标的系数; R_{jk} 是指标层指标标准化数值。

1.2.2 评价指标体系 根据评价模型的指导, 分析旱作区节水农业综合效益, 可以将其划分为三个层次: 目标层、准则层和指标层(见图 1)。

1.2.3 评价方法 本文将采用层次分析法评价方法 (Analytic Hierarchy Process, 简称 AHP 法), 该方法是美国运筹学家 T. L. Saaty 于 20 世纪 70 年代提出的, 是一种将定性分析和定量分析相结合的多目标决策方法^[5]。其主要步骤大致包括构建层次模型; 构建指标判断矩阵, 判断指标权重; 综合评判和结果分析三大部分^[6]。其具体步骤将在下文结合实例讲述。

2 山西寿阳节水农业综合效益评价研究

2.1 评价区基本情况

根据《中国综合农业区划》, 山西寿阳县属黄土

收稿日期: 2007-08-07

基金项目: 863 计划“华北半湿润偏旱井灌区及早作区节水(山西晋中)综合技术体系集成与示范”(2002-AA-2-Z-43311)

作者简介: 雷 波 (1976—), 男, 四川成都人, 工程师, 主要从事水资源经济与节水农业效益评价研究。E-mail: leibo@iwhr.com.

高原区的晋东豫西山地农林牧区,在《北方旱地农业类型分区及其评价》中属于半湿润偏旱农区^[7]。本文利用北方旱作区节水农业综合效益评价的理论和方法,以县域为尺度评价山西寿阳旱作区节水农业综合效益。

2.2 指标和数据的选择确定

寿阳县旱作区节水农业发展近 20 年来,对地区社会、经济和生态环境产生了较为明显的影响。这些影响是一个复杂的大系统,实际效果很难通过少数指标来反映,因此,为了客观准确地反映寿阳县旱作区节水农业的综合效益及未来的发展趋势,我们采用北方旱作区节水农业综合效益评价的理论和方

法对其进行具体评价。评价的年份包括“九五”第一年即 1996 年和“十五”的前四年即 2001~2004 年,以及 2005 年的理论假设评定和基于两种不同假设下(假设 1 指旱作区节水农业产出按理想状况,但旱作区节水农业成本由农民自己承担;假设 2 指旱作区节水农业产出发展按理想状况,但政府对旱作区节水农业的推广给以适当补偿,以消除节水农业的技术成本)的 2010 年的预测评定。

2.2.1 指标的选择 具体指标的确立结合实际数据的采集与理论设定指标集有一定的出入,主要是由于历史数据有些缺失。其指标结构图见图 1。

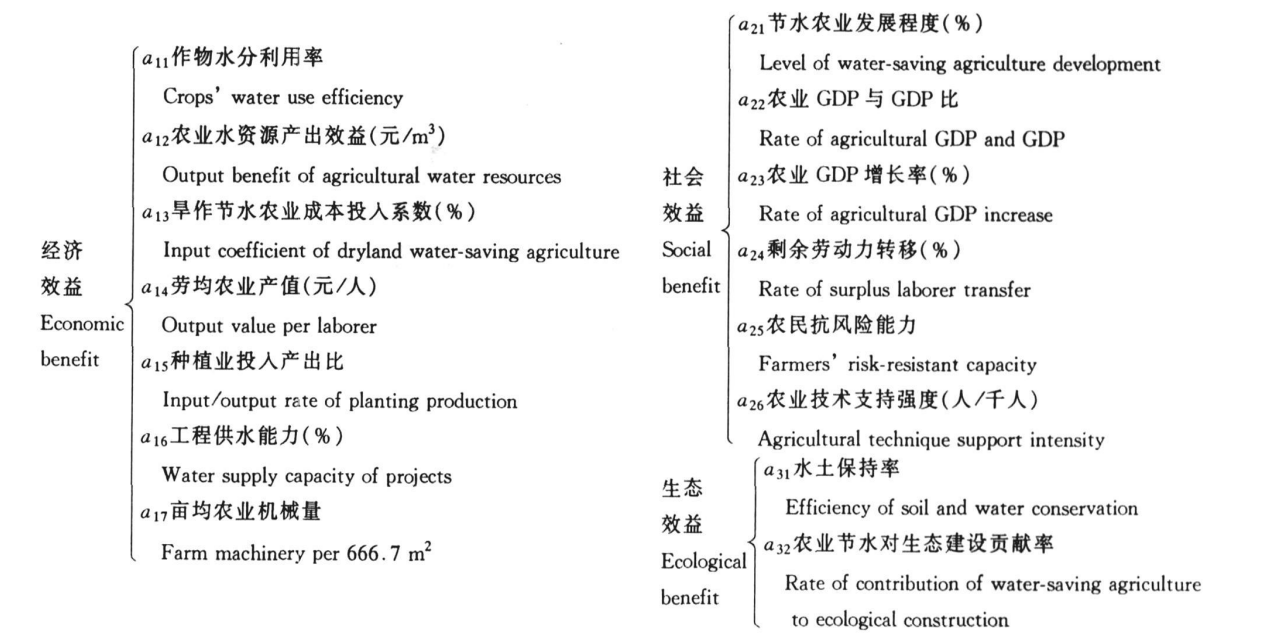


图 1 寿阳旱作区节水农业综合效益评价体系
Fig. 1 The appraisal system of multi-effect of DWSA of Shouyang

2.2.2 指标数值的确定 评价所需原始数据主要来源于三个途径,寿阳县历年统计资料、试验区试验数据和寿阳县随机农户调查。由于评价指标体系中各指标的量纲不同,不同指标的功能也有所差异,并且指标间数量相差较大,因此,不同指标间无法进行直接比较,为此必须对指标进行标准化处理,使指标成为无量纲指标。标准化处理采用极差法。指标数值的极差化的公式为

$$R_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{\max}}{x_{\max} - x_{\min}}$$

标准化处理后的无量纲指标见表 1。
2.2.3 指标权重的确定 权重的确定采用层次分析法。指标之间相对权重的确立通过问卷调查,由

19 位长期在寿阳从事旱作节水农业试验、示范和推广的农业专家以及寿阳县科技局、农业局和环保局等相关部门的 3 位工作人员评定。

(1) 层次单排序及一致性检验

设 a_i 对 R 的权重 w_i , a_{ij} 对 a_i 的权重为 w_{ij} , 构成两两比较判别矩阵求得层次单排序及其一致性检验结果(表 2~5)。

(2) 层次总排序及一致性检验

由于影响经济效益(a_1)、社会效益(a_2)、生态效益(a_3)的指标个数不完全相同,因此,需对其权重 W_i 进行加权修正。计算公式为:

$$\bar{w}_i = \frac{n_i w_i}{\sum_{i=1}^n n_i w_i}$$

式中, n_i 为 w_i 所支配的指标个数, $\bar{w}_i$ 为修正后的指标 a_i 对于旱作区节水农业综合效益总指标(R) 的权重。

表 1 寿阳旱作区节水农业综合效益评价指标标准化值
Table 1 The standardization value of appraisalment index

指标名称 Index		不同水平年指标数据 The standardization value in different years								
		1996	2000	2001	2002	2003	2004	2005 *	假设 1	假设 2
经济效益 Economic benefit a_1	a_{11}	0.00	0.90	0.28	0.55	0.94	0.62	0.55	1.00	1.00
	a_{12}	0.03	0.00	0.04	0.75	0.66	0.99	0.91	1.00	1.00
	a_{13}	0.00	0.17	0.29	0.42	0.50	0.60	0.77	1.00	1.00
	a_{14}	0.15	0.00	0.04	0.47	0.48	0.66	0.68	1.00	1.00
	a_{15}	0.17	0.00	0.13	0.20	0.14	0.17	0.21	0.51	1.00
	a_{16}	0.09	0.00	0.01	0.06	0.12	0.25	0.34	1.00	1.00
	a_{17}	0.05	0.26	0.22	0.00	0.13	0.16	0.50	1.00	1.00
社会效益 Social benefit a_2	a_{21}	0.00	0.17	0.31	0.62	0.63	0.50	0.53	0.78	1.00
	a_{22}	0.29	0.58	0.37	0.00	0.04	0.28	0.36	1.00	1.00
	a_{23}	0.00	0.80	0.87	1.00	0.73	0.46	0.53	0.77	0.77
	a_{24}	0.04	0.35	0.17	0.52	0.64	0.66	0.66	0.96	1.00
	a_{25}	0.00	0.70	1.00	0.56	0.67	0.17	0.19	0.30	0.85
	a_{26}	0.05	0.01	0.02	0.00	0.02	0.01	0.01	0.54	1.00
生态效益 Ecologic benefit a_3	a_{31}	0.00	0.78	0.91	0.78	0.72	0.78	0.81	0.81	1.00
	a_{32}	0.23	0.69	0.55	0.06	0.00	0.07	0.00	0.36	1.00

表 2 判断矩阵 $R-A_i$ 及其特征值
Table 2 Matrix $R-A_i$ and its eigenvalue

R	a_1	a_2	a_3	w_i
a_1	1.00	2.00	6.00	0.60
a_2	0.50	1.00	3.00	0.30
a_3	0.17	0.33	1.00	0.10
$\lambda_{\max}=3.0033$			$CI^1=0.58$	
$CR=0.0028<0.1$			$RI=0.0017$	

表 3 判断矩阵 A_1-A_{1j} 及其特征值
Table 3 Matrix A_1-A_{1j} and its eigenvalue

A_1	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	a_{15}	a_{16}	a_{17}	W_{1j}
a_{11}	1.00	1.00	3.00	4.00	6.00	9.00	9.00	0.3471
a_{12}	1.00	1.00	2.00	3.00	3.00	6.00	8.00	0.2643
a_{13}	0.33	0.50	1.00	2.00	3.00	4.00	6.00	0.1584
a_{14}	0.25	0.33	0.50	1.00	1.00	3.00	4.00	0.0911
a_{15}	0.17	0.33	0.33	1.00	1.00	3.00	2.00	0.0735
a_{16}	0.11	0.17	0.25	0.33	0.33	1.00	1.00	0.0341
a_{17}	0.11	0.13	0.17	0.25	0.50	1.00	1.00	0.0314
$\lambda_{\max}=7.1344$						$CI^1=1.32$		
$CR=0.0168<0.1$						$RI=0.0224$		

表 4 判断矩阵 A_2-A_{2j} 及其特征值
Table 4 Matrix A_2-A_{2j} and its eigenvalue

A_2	a_{21}	a_{22}	a_{23}	a_{24}	a_{25}	a_{26}	W_{2j}
a_{11}	1.00	2.00	3.00	6.00	4.00	4.00	0.374
a_{12}	0.50	1.00	2.00	4.00	3.00	3.00	0.2358
a_{13}	0.33	0.50	1.00	6.00	3.00	2.00	0.175
a_{14}	0.17	0.17	0.17	1.00	0.33	0.50	0.0421
a_{15}	0.25	0.25	0.33	3.00	1.00	2.00	0.0963
a_{16}	0.25	0.25	0.50	2.00	0.50	1.00	0.0764
$\lambda_{\max}=6.0820$				$CI^1=1.24$			
$CR=0.0132<0.1$				$RI=0.0164$			

表 5 判断矩阵 A_3-A_{3j} 及其特征值
Table 5 Matrix A_3-A_{3j} and its eigenvalue

A_3	a_{31}	a_{32}	W_{3j}
a_{31}	1.00	2.00	0.6667
a_{32}	0.50	1.00	0.3333
$\lambda_{\max}=2$		$CI^1=0$	
$CR=0<0.1$		$RI=0$	

则修正后的 A_i 对 R 的权重指标向量
 $W_i=(\overline{w}_1,\overline{w}_2,\overline{w}_3)'=(0.6774,0.2903,0.0323)'$
则若 W_{ij} 为指标 a_{ij} 对 R 的权重,则由
 $W_{ij}=W_iR_{ij}$

则:

$$\begin{pmatrix} \overline{w}_1 \\ \overline{w}_2 \\ \overline{w}_3 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} W_{1j} & W_{2j} & W_{3j} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.2351 & 0.1086 & 0.0215 \\ 0.1790 & 0.0685 & 0.0107 \\ 0.1073 & 0.0508 \\ 0.0617 & 0.0122 \\ 0.0498 & 0.0280 \\ 0.0231 & 0.0222 \\ 0.0213 \end{pmatrix}$$

2.3 效益评价

2.3.1 准则层指标评价 旱作区节水农业的综合效益由经济效益、社会效益和生态效益综合构成,并且在评价体系中,经济效益、社会效益和生态效益是界定综合效益的三个基本要素。在进行综合效益评价之前,有必要先对三个要素目标进行评价。

根据评价理论模型
$$R=\sum_{i=1}^3a_i\left[\sum_{j=1}^na_{ij}\left(\sum_{k=1}^na_{jk}R_{jk}\right)\right]$$
的分解,准则层指标效益评价的模型为
$$R_i=w_{ij}a_{ij}$$
式中: R_i 为准则层 i 的效益评价, w_{ij} 和 a_{ij} 分别为权

重和相应的指标值。
$$R_i=W_i'A_i=\begin{pmatrix} 0.04 & 0.35 & 0.17 & 0.52 & 0.64 & 0.66 & 0.66 & 0.96 & 1 \\ 0.1 & 0.43 & 0.46 & 0.46 & 0.45 & 0.35 & 0.41 & 0.77 & 0.94 & 0.54 \\ 0.08 & 0.75 & 0.79 & 0.54 & 0.48 & 0.54 & 0.54 & 0.66 & 1 \end{pmatrix}$$
设 R_i^* 为 R_i 对于 R 的效益值,则:
$$R_i^*=W_iR_i=\begin{pmatrix} 0.03 & 0.24 & 0.12 & 0.35 & 0.43 & 0.45 & 0.45 & 0.65 & 0.68 \\ 0.03 & 0.12 & 0.13 & 0.13 & 0.13 & 0.10 & 0.12 & 0.22 & 0.27 \\ 0.003 & 0.024 & 0.026 & 0.017 & 0.016 & 0.017 & 0.017 & 0.021 & 0.032 \end{pmatrix}$$
综合效益 $R=\sum_{i=1}^3w_iR_i=\sum_{i=1}^3\sum_{j=1}^kw_{ij}a_{ij}$
$$=R_1^*+R_2^*+R_3^*$$
$$=(0.06 \quad 0.39 \quad 0.27 \quad 0.50 \quad 0.58 \quad 0.57 \quad 0.58 \quad 0.90 \quad 0.98)$$

2.3.2 评价结果分析 寿阳县旱作区节水农业综合效益评价结果见图 2。评价结果表明从 1996 年到 2000 年,5 年间综合效益由 0.06 提高到 0.39,提高了 0.33,平均每年提高 0.083。从 2005 年到假设条件 1 和假设条件 2 下的 2010 年,6 年间综合效益由 0.58 分别提高到 0.90 和 0.98,分别提高了 0.32 和 0.40,平均每年提高 0.064 和 0.08。2000 年到 2005 年的 6 年间,综合效益由 0.39 提高到 0.58,共提高了 0.17 点,平均每年提高 0.043。从综合效益变化的趋势来看,“九五”期间和预测的“十一五”期间提高的幅度较大,而“十五”期间则相对较缓。

经济效益只是在 2001 年出现较大的回落,其余年份均以不同的速度递增。评价结果告诉我们,近年来,尤其是“十五”期间,旱作区节水农业给寿阳县的农业生产、农业经济增长和农村发展起到了很好的促进作用。统计数据也显示,寿阳县农业总产值(种植业)从 2000 年的 13 551 万元增加到 2004 年的 34 189 万元,4 年间增长了近 2 倍。促进经济效益提高的主要因素是两个,一是节水效益的提高,一

是种植业结构的调整。

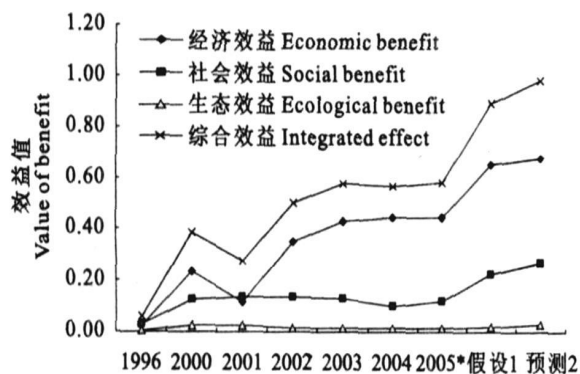


图 2 寿阳县旱作区节水农业综合效益评价示意图

Fig. 2 Appraisal result of multi-effect of DWSA of Shouyang

对于社会效益而言,数值显示,在评价起始年份,经济效益和社会效益均为 0.03,但随着时间的延伸,经济效益值明显高于社会效益。评价结果的数据显示,旱作区节水农业的生态效益数值不仅远远小于经济效益和社会效益,其变化程度也不存在明显的上升趋势或下降趋势,而是维持在 0.0174 至 0.0255 之间。旱作区节水农业对寿阳县的生态环境建设具有一定的维持作用,但其促进作用有限。

受经济效益的持续稳定上升和社会效益的稳步增加的影响,其综合效益还是呈现出稳定上升的结果。这一结果表明:旱作节水农业生产模式是寿阳县农业发展的正确模式,应该坚持下去。

3 结论与讨论

我国旱作区节水农业技术的研究与发展已经经

历了相当长一段时间,但就现阶段而言,这些技术真正能够实现广泛推广的并不多。一个主要原因就在于相关科研人员过于注重节水农业的技术先进性而忽略了技术适用性和社会对其的可接受性。社会对节水农业的节水程度主要有两个层面,一是以政府部门为代表的区域宏观层面,其主要依据是节水农业的综合效益;一是以农户为代表的微观生产者层面,其主要依据是节水农业的经济效益。而合理的节水农业综合效益评价将是解决这两个层面问题的关键。本文对旱作区节水农业综合效益的评价只是一个粗浅的尝试,评价的对象也仅限于种植业,对农牧业结合发展这一模式当前及未来旱区农业发展的主要趋势还关注不够。今后,在开展类似的研究时,应该进一步补充和完善。

参考文献:

- [1] 罗其友,姜文来.旱地农业决策基础研究[M].北京:气象出版社,1998.1-3.
- [2] 石言波.21世纪我国农业功能定位初探[J].江西农业经济,1999,(1):5-6.
- [3] 雷波.政府干预与市场行为对实现节水农业的作用[J].节水灌溉,2004,(2):36-38.
- [4] 雷波,姜文来.旱作节水农业综合效益评价研究进展[J].灌溉排水学报,2004,23(3):65-69.
- [5] 苏友华.多指标综合评价理论及方法问题研究[D].厦门:厦门大学,2000.84-111.
- [6] 谢乃明,刘思峰.灰色层次分析法及其定位求解[J].江南大学学报,2004,3(1):87-89.
- [7] 信乃谏.中国北方旱区农业研究[M].北京:中国农业出版社,2002.

Appraisalment on integrated effect of dryland water-saving agriculture

— A case study in Shouyang, Shanxi Province

LEI Bo^{1,2}, JIANG Wan-lai²

(1. National Center for Efficient Irrigation Engineering and Technology Research, Beijing 100044, China;

2. Institute of Agricultural Resources and Agricultural Planning, CAAS, Beijing 100081, China)

Abstract: Dryland water-saving agriculture (DWSA) is an inevitable choice to overcome the restriction of shortage of agricultural resources and realize the goal of sustainable development of agriculture in North China. Studying the integrated effects appraisalment of DWSA is the requirement of the spread of DYWA for guiding the development of DWSA and promoting the spread of DWSA. This paper tried to construct the appraisalment system of integrated effect of DWSA. With the guidance of the appraisalment system, we conduct a case study in Shouyang, Shanxi Province to introduce the basal methods and procedures of the integrated effect appraisalment of DWSA.

Key words: dryland farming; water-saving; comprehensive benefits; appraisalment