

黑龙港区小麦玉米农艺节水技术 集成模式综合评价及推广建议

刘晓敏^{1,2}, 夏来坤³, 王慧军⁴

¹河北经贸大学经济研究所, 石家庄 050061; ²东北农业大学, 哈尔滨 150040;

³河南省农业科学院粮食作物研究所, 郑州 450002;

⁴河北省农林科学院, 石家庄 050051)

摘要:黑龙港属华北缺水低平原区, 水资源不足是限制该区农业生产发展的主要因素。该区主要种植模式为冬小麦-夏玉米一年两熟制, 小麦、玉米高产主要靠超采地下水来维持。近年来, 随着小麦节水技术的推广应用, 粮田产量和水分效率在逐步提高, 但节水高产潜力仍然巨大。特别是从周年水资源高效利用出发, 建立区域特色的两熟一体化节水高效技术模式, 十分必要。运用熵权综合评价法对“黑龙港及鲁北平原区小麦玉米减蒸降耗农艺节水技术集成与示范”项目形成的小麦玉米农艺节水技术集成模式进行评价, 筛选出最佳的节水技术模式。得到的结论是: 最少水肥投入模式最优, 节水省肥模式次优, 传统高水肥模式最差。节水省肥是未来发展现代农业的方向。应该进一步提高农户农业节水意识, 利用多种手段, 促进农户采用小麦玉米节水技术优化模式。

关键词:黑龙港区; 小麦玉米; 农艺节水技术; 评价

中图分类号: F293

文献标志码: A

论文编号: 2010-2847

Comprehensive Evaluation and Promotion Suggestion of Wheat/Corn Agronomic Water-saving Technology Integration Model in Heilonggang Region

Liu Xiaomin¹, Xia Laikun², Wang Huijun³

¹Institute of Economics Study, Hebei University of Economics & Business, Shijiazhuang 050061;

²Northeast Forestry University, Harbin 150040;

³Cereal Crop Research Institute, Henan Academy of Agricultural Science, Zhengzhou 450002;

⁴Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Shijiazhuang 050051)

Abstract: Heilonggang water shortage is a major factor to limit the development of agricultural production in this area. The main planting model is winter wheat and summer maize double cropping in this area, wheat/corn yield depends mainly on exploitation of groundwater to maintain. In recent years, with the popularization and application of wheat water-saving techniques, grain yield and water efficiency gradually improved, but water yield potential is still huge. In particular, it is very necessary starting from the anniversary of the efficient use of water resources, establishment of regional characteristics, water-saving and efficient integration of the two mature technology system. Comprehensive evaluation wheat and corn agronomic water-saving technology integration model were by entropy method. The conclusion was: minimum of water and fertilizer inputs mode was the best, water and fertilizer saving mode is the second-best, traditional of high water and fertilizer mode was the worst. Wheat and corn saving water and fertilizer was the development direction in future, should

基金项目: 国家科技支撑计划项目“灌溉农田作物-技术-区域耦合节水优化模式研究”(2007BAD69B09); 2010年河北省社会科学发展研究课题“河北省农业节水技术经济评价与推广建议”(201002019)。

第一作者简介: 刘晓敏, 女, 1975年出生, 河北保定人, 博士, 河北经贸大学助理研究员, 主要从事农业经济、政策分析研究工作, 通信地址: 050051 河北省石家庄市和平西路598号河北省农林科学院内9号楼4单元401, E-mail: yameixisi@163.com。

通讯作者: 王慧军, 男, 1957年出生, 河北张家口人, 河北省农林科学院院长, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事农业经济研究。

收稿日期: 2010-09-30, **修回日期:** 2010-10-15。

further raise the awareness of farmers of agricultural water, use various means to promote farmers using water-saving technologies of wheat and corn.

Key words: Heilonggang region; wheat/corn; agronomic water-saving techniques; evaluation

0 引言

黑龙港属华北缺水低平原区,也是典型的中低产地区,水资源不足是限制该区农业生产发展的主要因素。如黑龙港平原人均水资源占有量仅为 164 m^3 ,每公顷水资源占有量为 1620 m^3 ,是河北省乃至华北平原水资源最贫乏地区。该区主要种植模式为冬小麦—夏玉米一年两熟制,常规生产中两作种植模式年需水量 800 mm 以上,但是该区年降水量不足 600 mm ,粮食高产主要靠超采地下水来维持。同时,该地区的降雨量年际间及年内分布都很不均匀,丰水年(1990年)和缺水年(1992年)降雨量差可达 400 mm ,而年内降雨的70%左右主要分布在夏季(6月—9月)。由于降雨少且分布不均,蒸发量大,加上地力薄弱,肥水管理不当等因素的综合作用,导致该地区粮食生产水分利用效率低,全年水分利用效率平均只有 $1.1\sim 1.3\text{ kg/m}^3$ 。如何减蒸降耗增产,大幅度提高粮田水分利用效率,缓解水资源危机,是实现该区域农业可持续发展必须解决的重大问题。

关于农业节水评价研究,注重工程和设施方面的研究,但喷灌、滴灌等设备投资强度较大,在没有开发资金支持的地区很难采用,也很难适合目前一家一户分散的小规模农田生产的实情。在华北平原浅层水灌溉区,软管输水,行之有效,现已广泛应用,使输水中的损失变得非常有限。因此,节水的潜力主要在于农田节水,关键是建立节水与高产相统一的综合农艺栽培技术。近年来,随着小麦节水技术的推广应用,粮田产量和水分效率在逐步提高,但节水高产潜力仍然巨大。特别是从周年水资源高效利用出发,建立区域特色的两熟一体化节水高效技术模式,十分必要,意义重大。2007年立项的国家科技支撑计划“黑龙港及鲁北平原区小麦玉米减蒸降耗农艺节水技术集成与示范”项目以冬小麦夏玉米周年一体化减蒸降耗、高产高效为目标,在周年光温水肥优化配置基础上,综合集成小麦、玉米两作节水降耗高效技术,构建区域特色的节水高效技术体系,并准备在黑龙港和鲁区平原区大面积示范并推广。“黑龙港及鲁北平原区小麦玉米减蒸降耗农艺节水技术集成与示范”项目建立了适宜华北中低产区玉米晚收、小麦晚播种、灌溉制度、合理施肥、节水品种等小麦玉米农艺节水技术集成模式。此研究运用熵权综合评价法对“黑龙港及鲁北平原区小麦玉米减

蒸降耗农艺节水技术集成与示范”项目形成的小麦玉米农艺节水技术集成模式进行评价,筛选出最佳的节水技术模式。

以往多以层次分析法、模糊评价方法、多层次灰色关联综合评判模型、多目标决策灰色关联投影模型、模糊神经网络综合评价方法、系统模糊优选熵权模型、密切值法等方法对农业节水灌溉工程技术、农艺技术、管理技术单项技术的经济效益、社会效益、生态效益等方面进行了研究。采用模型分析方法对以农艺节水技术为主的集成节水模式进行技术经济评价还不多见^[2-14]。

1 黑龙港区小麦玉米农艺节水技术集成模式的基本情况

1.1 小麦玉米节水省肥试验基本情况

2007年夏玉米供试品种为‘郑单958’,单一密度 82500 株/hm^2 ,2007年6月17号播种,10月5日收获。播种后浇出苗水,浇水量 $750\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 左右。氮肥为尿素(含纯N 46%),磷钾肥用量分别为 P_2O_5 : 105 kg/hm^2 (过磷酸钙,含 P_2O_5 16%)、 K_2O : 120 kg/hm^2 (硫酸钾,含 K_2O 50%),磷钾肥随苗期氮肥在玉米三叶期一次性施入;2007—2008年冬小麦试验供试品种为当地大面积推广的高稳产品种‘石家庄8号’,在夏玉米季小区基础上播种,播种量 337.5 kg/hm^2 ,2007年10月19号播种,2008年6月11日收获。由于小麦播种前持续半月左右的降雨,已提供足够的底墒水,所以当年小麦底墒水未灌,以后各时期每次灌水按 $750\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 计。氮肥为尿素(含纯N 46%),磷钾肥用量分别为 P_2O_5 : 105 kg/hm^2 (过磷酸钙,含 P_2O_5 16%)、 K_2O : 120 kg/hm^2 (硫酸钾,含 K_2O 50%),磷钾肥随基施氮肥一次性施入。

1.2 小麦玉米四种水肥模式简要介绍

水资源的匮乏严重威胁着该区农业生产。氮素是作物生长发育过程中需要量最大的营养元素,肥料氮的投入是作物获得高产的重要保证之一。但生产上往往片面追求产量而增加化肥的使用量。化肥施用量大、利用率低不仅造成了生产上的浪费,而且还造成地下水硝酸盐含量上升、水体富营养化面积扩大等一系列面源污染问题。因此,在确保作物高产的前提下,减少地下水开采、提高水分利用效率,降低化肥尤其是氮肥施用量、减少氮肥面源污染,提高氮肥利用率,协调提高作物产量和水肥利用率是一个非常重要的研究方向。鉴于华北平原农业生产中的水肥利用现状,以冬

小麦/夏玉米轮作的一年两熟种植制度作为一个生产系统,进行作物高产与水氮高效利用的综合研究,指导该地区农业生产。4种水肥模式浇水次数、浇水时间和施肥量、施肥时间具体见表1。

(1)传统高水肥:该模式是华北地区农民传统的小

麦玉米浇水、施肥方式。传统高水肥生育期内浇底墒、拔节、开花、灌浆中期4水。传统高水肥施肥量和桓台高水肥模式相同,而且最高。

(2)节水省肥:该模式生育期内浇底墒、拔节、开花期3水,施肥量低于传统高水肥和桓台高水肥模式。

表1 吴桥冬小麦/夏玉米试验水氮管理措施

处理	冬小麦氮肥	灌溉	夏玉米氮肥
传统高水肥	300 kg/hm ² 底肥:拔节肥=1:1	底墒、拔节、开花、灌中	300 kg/hm ² 肥:大口肥=1:2
节水省肥	150 kg/hm ² 底肥	底墒、拔节、开花	120 kg/hm ² 苗肥:大口肥=1:2
最少水肥投入	105 kg/hm ² 底肥	底墒、拔节	75 kg/hm ² 苗肥
桓台高水肥	300 kg/hm ² 底肥:拔节肥=1:1	底墒、越冬、拔节、开花	300 kg/hm ² 苗肥:拔节肥:吐丝肥=1:1:1

(3)最少水肥投入:只施底肥、只浇底墒水,意在比较资源最少投入条件下的作物产出。施肥量在4种水肥模式中最低。

(4)桓台高水肥:该水肥模式为桓台地区农民施肥习惯,因本试验吴桥、桓台两地均有安排,所以叫桓台高水肥以代表该地区生产模式。桓台高水肥生育期内浇底墒、拔节、开花、灌浆中期4水。传统高水肥施肥量和桓台高水肥模式相同,而且最高。

2 黑龙港区小麦玉米农艺节水技术集成模式的投入产出分析

小麦玉米生产是自然再生产和经济再生产相交织

的生产过程,在这种再生产的过程中,需要在一定耕地面积上投入一定的农业生产资源,如种子、肥料、农药、农业机械和劳动力等,从而获得人们需要的小麦产量。自然再生产追求的是产量目标,经济再生产追求的是生产利润的最大化,考虑的是农业生产资源利用率的提高,一定的投入要有一定的产出效益^[1]。

由表2可知,小麦玉米4种水肥投入模式中,种子、机械和农药投入相同,人工、农用电和化肥投入不同。人工投入中传统高水肥和桓台高水肥投入最高而且相同,最少水肥投入模式人工投入最低。农用电投入中传统高水肥和桓台高水肥投入最高而且相同,最少水

表2 不同水氮措施下冬小麦/夏玉米轮作体系的经济产投比及组成

项目	传统高水肥	节水省肥	最少水肥投入	桓台高水肥
成本投入/ (元/hm ²)	种子	578	578	578
	机械	1500	1500	1500
	人工	5063	4650	4238
	农用电	675	540	405
	化肥	6801	5366	4975
	农药	145	145	145
	总投入	14762	12779	11841
产出/(元/hm ²)	籽粒	30304	29973	26718
	秸秆	7401	7365	6598
	周年总产出	37705	37338	33316
年经济效益/(元/hm ²)	22943	24559	21475	22391
年经济产投比	2.55	2.922	2.81	2.52
产量/(kg/hm ²)	19012.3	18791.4	16759.5	18716.5
水分利用效率/(kg/m ³)	2.17	2.19	2.07	2.05
水分经济利用效率/(元/m ³)	3.45	3.5	3.3	3.26

注:(1)表中各项投入、产出的价格均按照吴桥县2008年物价为准计算。(2)投入项目中,种子价格为:小麦2.00元/kg、玉米8.00元/kg;(3)产出项目中,籽粒价格为:小麦1.70元/kg、玉米1.50元/kg;秸秆价格为:小麦秸秆0.40元/kg、玉米秸秆0.40元/kg;数据来源:国家科技支撑计划“黑龙港及鲁北平原区小麦玉米减蒸降耗农艺节水技术集成与示范”项目。

肥投入模式农用电投入最低。化肥投入中传统高水肥和桓台高水肥投入最高而且相同,最少水肥投入模式化肥投入最低。因此,4种水肥模式人工、农用电和化肥投入不同,最少水肥投入模式投入最低;籽粒产出传统高水肥最高,最少水肥投入最低。秸秆产出传统高水肥最高,最少水肥投入最低。周年总产出传统高水肥最高,最少水肥投入最低。年经济效益节水省肥最高,最少水肥投入模式最低。年经济产投比节水省肥最高,桓台高水肥最低。产量传统高水肥最高,最少水肥投入模式最低。水分利用效率节水省肥模式最高,桓台高水肥最低。水分经济利用效率节水省肥模式最高,桓台高水肥模式最低。

3 黑龙港区小麦玉米农艺节水技术综合评价

3.1 综合评价的理论基础

此研究采用熵权综合评价方法对黑龙港区小麦玉米节水技术集成模式进行技术经济评价。技术经济评价,是运用科学的方法,从技术、经济、社会等多个方面对项目进行系统的分析和评价,并从多个方案中选择一个在技术效果、经济效果、社会效果等方面达到总体最优的技术方案的一项系统性工作与方法。此研究在前人研究成果、思路和方法的基础上,利用熵权综合评价法对黑龙港区小麦玉米节水技术节水技术集成模式在生产效益、社会经济效益和生态环境效益方面进行技术经济评价^[2-4]。评价对象是农艺节水技术、管理节水技术、生物节水技术集成的以农艺节水技术为主的小麦玉米节水技术集成模式。由于“黑龙港及鲁北平原区小麦玉米减蒸降耗农艺节水技术集成与示范”项目的目标是在不减产或增产情况下,通过节水技术,降低水资源的利用量,提高小麦玉米水分利用效率。因此,对小麦玉米节水技术集成模式评价应该考虑产量、水分利用效率等生产效益,产值、水分经济利用效率等社会经济效益、节水、省肥等生态环境效益。

3.2 综合评价的方法

3.2.1 综合评价法 综合评价法是在确定研究对象评价指标体系基础上,运用一定方法对各指标在研究领域内的重要程度,即其权重进行确定。根据所选择的评价模型,利用综合指数的计算形式,定量地对某现象进行综合评价的方法,其具体评价模型为

$$ESI = \sum_i^m W_i \times C_i \dots\dots\dots (1)$$

式中,ESI为综合评价指数,W_i为第i个指标的权重值,C_i为无量纲量化值,m为评价指标个数。

应用综合评价法时,在评价模型确定的前提

下,最关键的就是确定各评价指标的权重。常用的确定评价指标权重的方法有畅谈会法(头脑风暴法)、特尔斐法等主观赋权法和主成分法、均方差法、离差最大化法、熵值法等客观赋权法^[15]。由于主观赋权法主观随意性大,此文采用熵值法客观赋权法。

3.2.2 熵值法确定权重 熵的概念源于热力学,是对系统状态不确定性的一种度量。后由Shannon引入到信息论中。根据信息论基本原理,信息是系统有序程度的一个度量,而熵是系统无序程度的一个度量,二者绝对值相等,但是符号相反。熵值越小,系统无序度越低,信息的效用值越大,指标的权重越大;熵值越大,系统无序度越高,信息的效用值越小,指标的权重也越小^[16]。在评价过程中,熵值的大小主要取决于评价指标值的变异程度。如果某个评价指标值的变异程度越大,熵值就越小,权重越大。反之,指标值变异程度越小,则熵值越大,权重越小。如果各个评价对象的某个评价指标值都相等,则该评价指标并不向系统提供有用信息,可去除。因此可根据各个评价指标值的变异程度,利用计算熵值来确定各指标的权重,再对所有指标进行加权,从而得出较为客观的综合评价结果。具体计算步骤如下^[17-19]:

(1)数据的标准化处理

设被评价对象为Y=(Y₁, Y₂, ..., Y_m),综合评价指标体系为Z=(Z₁, Z₂, ..., Z_n),则n个指标对m个被评价对象的评价指标体系可用指标矩阵X表示:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

由于评价指标体系中的各个指标值量纲不同,代表了不同的含义,无法直接进行比较。在指标特征矩阵X中,各元素均为未经处理的原始数据,因此在进行综合评价之前必须对各指标值进行处理。一般而言,指标可以分为效益型(越大越优型)、成本型(越小越优型)、固定型(越接近某一理想值β越优型)以及区间型(期望区间[a₁, a₂]越优型)。利用极差变换公式,这3类指标标准化公式如下:

对于效益型指标:

$$r_{ij} = (x_{ij} - \min(x_{ij})) / (\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})) \dots\dots\dots (2)$$

对于成本型指标:

$$r_{ij} = (\max(x_{ij}) - x_{ij}) / (\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})) \dots\dots\dots (3)$$

对于固定型指标:

$$r_{ij=1} = \frac{|x_{ij} - x_i|}{\max |x_{ij} - x_i|} \dots\dots\dots (4)$$

通过上述变换,均有 $0 \leq r_{ij} \leq 1$, 并且各类指标均化成正向指标,最优值为 1,最差值为 0,则得到标准化后的特征矩阵为:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{m3} \end{bmatrix}$$

(2)定义熵。在有 m 个指标、 n 个被评价对象的评估问题中,第 i 个指标的熵为:

$$h_i = -k \sum_{j=1}^n f_{ij} \ln f_{ij} \dots\dots\dots (5)$$

式中: $f_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{j=1}^n r_{ij}}, k = \frac{1}{\ln n}$, n 表示系统可能处于的

状态数, f_{ij} 表示系统所处的某种状态的概率。其中 f 满足 $0 \leq f \leq 1, \sum f = 1$, 并规定当 $f=0$ 时,有 $f \ln f = 0$ 。

(3)定义熵权。定义了第 i 个指标的熵之后,可得到第 i 个指标的熵权为:

$$w_i = \frac{1 - h_i}{m - \sum_{i=1}^m h_i} \left(0 \leq w_i \leq 1, \sum_{i=1}^m w_i = 1 \right) \dots\dots\dots (6)$$

由式(5)和(6)可以看出,当 n 个被评价方案在某指标值上均相同时,该指标熵值达到最大值 1,此时熵权为 0,即说明该指标未向决策者提供有用信息,可以删去。

评价指标权重是评价指标相对重要性的定量表示,指标权重的确定直接关系到评价结果的准确性。目前各评价指标的权重一般都是根据评价者的主观认识来确定的,所以,势必会导致由于对某一指标估计过高或过低而使评价不能反映研究对象的客观实际情况,而熵权法是根据各个评价指标所提供的有效信息量对其进行客观赋权的方法,用熵权法确定各指标权重,有效避免了评价过程中的人为因素的干扰,使评价结果更为客观、准确。

3.3 综合评价指标体系的构建

科学地选择适当的指标,建立综合评价指标体系,是正确评价一个地区的农田节水技术模式的关键问题。本着节水农业可持续发展的原则,以农业可持续发展的三个重要原则为目标,选取了有关生产、社会经济和生态环境 3 个方面的指标^[4]。各指标及解释如下:

(1)生产类指标(np)。小麦单产(np1):单位面积

小麦产量(kg/hm²);玉米单产(np2):单位面积玉米产量(kg/hm²);全年产量(np3):全年小麦、玉米两季总产量(kg/hm²);小麦水分利用效率(np4):小麦产量与耗水量的比值(kg/m³);玉米水分利用效率(np5):玉米产量与耗水量的比值(kg/m³);全年水分利用效率(np6):全年总产量与全年耗水量的比值(kg/m³)。

(2)社会经济类指标(ns)。小麦玉米周年成本费(ns1):包括种子费、机械费、肥料费、人工费、农用电费、农药费(元/hm²);小麦玉米全年用工量(ns2):小麦、玉米两季劳动用工量(个/hm²);小麦玉米全年用电量(ns3):小麦、玉米两季灌溉用电量(kWh/hm²);小麦产值(ns4)(元/hm²);玉米产值(ns5)(元/hm²);小麦玉米总产值(ns6)(元/hm²);小麦玉米投入产出比(ns7);小麦玉米每公顷纯收益(ns8)(元/hm²);小麦水分经济利用效率(ns9)(元/m³);玉米水分经济利用效率(ns10)(元/m³);小麦玉米水分经济利用效率(ns11)(元/m³)。

(3)生态环境类指标(ne)。小麦耗水量(ne1):小麦生产季降雨量与灌溉水量总量(m³/hm²);玉米耗水量(ne2):小麦生产季降雨量与灌溉水量总量(m³/hm²);小麦玉米全年耗水量(ne3):小麦、玉米生产季降雨量与灌溉水量总量(m³/hm²);小麦节水量(ne4):其他 3 种模式耗水量与对照耗水量的差值(m³/hm²);玉米节水量(ne5):其它三种模式耗水量与对照耗水量的差值(m³/hm²);小麦玉米全年节水量(ne6):其他 3 种模式全年耗水量与对照全年耗水量的差值(m³/hm²);小麦节水程度(ne7):小麦节水量占对照耗水量的百分比(%);玉米节水程度(ne8):玉米节水量占对照耗水量的百分比(%);小麦玉米节水程度(ne9):全年节水量占对照全年耗水量的百分比(%);小麦施用氮肥量(ne10)(kg/hm²);小麦施用磷肥量(ne11)(kg/hm²);小麦施用钾肥量(ne12)(kg/hm²);玉米施用氮肥量(ne13)(kg/hm²);玉米施用磷肥量(ne14)(kg/hm²);玉米施用钾肥量(ne15)(kg/hm²);小麦玉米施用氮肥量(ne16)(kg/hm²);小麦玉米施用磷肥量(ne17)(kg/hm²);小麦玉米施用钾肥量(ne18)(kg/hm²);氮肥偏生产力(ne19)(kg/kg);氮素周年吸收效率(ne20)(kg/kg);氮素周年利用效率(ne21)(kg/kg)。

3.4 指标值的获取

根据中国农业大学吴桥试验站的试验数据整理而来(见表 3)。

3.5 数据的标准化处理及指标权重的确定

3.5.1 数据标准化处理结果 通过极差变换公式(2)、(3)、(4)计算,得到小麦玉米节水省肥各模式指标的标

表3 小麦玉米节水省肥模式评价指标值

	传统高水肥	节水省肥	最少水肥投入	桓台高水肥
np1/(kg/hm ²)	8928.1	8931.4	7888	8757.3
np2/(kg/hm ²)	10084.2	9860	8871.5	9959.2
np3/(kg/hm ²)	19012.3	18791.4	16759.5	18716.5
np4/(kg/m ³)	1.71	1.78	1.74	1.57
np5/(kg/m ³)	2.17	2.2	2.13	2.37
np6/(kg/m ³)	2.17	2.19	2.07	2.05
ns1/(元/hm ²)	14762	12779	11841	14762
ns2/(个/hm ²)	206	187.5	169	206
ns3/(kWh/hm ²)	1125	900	675	1125
ns4/(元/hm ²)	15177.77	15183.38	13409.6	14887.41
ns5/(元/hm ²)	15126.3	14790	13307.25	14938.8
ns6/(元/hm ²)	30304.07	29973.38	26716.85	29826.21
ns7/(元/hm ²)	2.55	2.92	2.81	2.52
ns8/(元/hm ²)	22943	24559	21475	22391
ns9/(元/m ³)	2.91	3.03	2.95	2.67
ns10/(元/m ³)	3.26	3.3	3.2	3.56
ns11/(元/m ³)	3.45	3.5	3.3	3.26
ne1/(m ³ /hm ²)	5217.7	5012	4543.1	5580.6
ne2/(m ³ /hm ²)	4638.2	4476.6	4159	4194
ne3/(m ³ /hm ²)	8778.7	8573	8104.1	9141.6
ne4/(m ³ /hm ²)	0	205.7	674.6	-362.9
ne5/(m ³ /hm ²)	0	161.6	479.2	444.2
ne6/(m ³ /hm ²)	0	205.7	674.6	-362.9
ne7/%	0	3.9	12.9	-7
ne8/%	0	3.5	10.3	9.6
ne9/%	0	2.3	7.7	-0.04
ne10/(kg/hm ²)	300	150	105	300
ne11/(kg/hm ²)	105	105	105	105
ne12/(kg/hm ²)	120	120	120	120
ne13/(kg/hm ²)	300	120	75	300
ne14/(kg/hm ²)	105	105	105	105
ne15/(kg/hm ²)	120	120	120	120
ne16/(kg/hm ²)	600	270	180	600
ne17/(kg/hm ²)	210	210	210	210
ne18/(kg/hm ²)	240	240	240	240
ne19/(kg / kg)	31.69	69.6	93.11	31.19
ne20/(kg / kg)	0.73	1.43	1.7	0.76
ne21/(kg / kg)	43.5	48.54	54.87	41.24

注: 数据来源: 国家科技支撑计划“黑龙港及鲁北平原区小麦玉米减蒸降耗农艺节水技术集成与示范”项目。

准化值(见表4)。

3.5.2 熵和熵值 由于黑龙港区小麦玉米4个被评价方案在 ne11、ne12、ne14、ne15、ne17、ne18 指标值上均相同, 这些指标熵值达到最大值1, 此时熵权为0, 即说明这些指标未向决策者提供有用信息, 可以删去, 删去这些指标后的指标体系经过公式(5)、(6)计算, 其熵和熵权见表5。

3.6 评价结果

按照公式(1)计算小麦玉米节水省肥模式的得分, 结果见表6。

表6可知, 最少水肥投入模式得分最高, 节水省肥模式得分次高, 传统水肥得分最低。因此从生产效果、社会经济效果、生态效果3个方面综合考虑小麦玉米最少水肥投入模式最优, 节水省肥模式次优。

4 结论与讨论

综合评价结果最少水肥投入模式最优, 节水省肥模式次优。从综合评价的结果来看, 最少水肥投入模式得分最高, 因此, 此种以农艺节水技术为主的集成模式可能是未来黑龙港区甚至河北省、华北区小麦玉米发展节水农业的最佳选择。节水省肥模式得分次高, 因此, 此种以农艺节水技术为主的集成模式是未来黑龙港区甚至河北省、华北区小麦玉米发展节水农业的次佳选择; 桓台高水肥模式得分次于最少水肥投入和节水省肥, 但高于传统高水肥模式。传统高水肥和桓台高水肥是高投入高产出的模式。

节水省肥减少农药施用量是我国发展现代农业的方向, 随着对农产品产量需求的不断提高, 单位农业产值的物耗急剧增加^[20]。大量超标使用化肥、农药、农膜导致土壤、地表水、地下水和农产品污染, 土地肥力下降, 土壤质量退化, 而且通过食物链和产销供应链进入到水体和餐桌, 构成食品安全和农村饮用水安全问题, 威胁到广大人民群众的健康^[21]。在水资源日益匮乏、施肥量过高导致土壤板结、农产品品质较差的背景下, 高水肥投入已经是逐渐要被淘汰的模式。水资源不足是限制黑龙港区农业发展的主要因素, 节水省肥是黑龙港区甚至华北灌溉区未来发展现代农业的方向。

利用多种手段, 促进农户采用小麦玉米节水技术。中国一方面缺水严重, 另一方面水资源浪费十分严重, 全民节水意识不强, 因此, 必须强化对农民的节水宣传教育, 增强农业节水意识, 自觉节约用水。水价是水资源管理的主要经济杠杆, 对水资源的配置和管理起重要的导向作用。政府必须推进小麦玉米生产的用水配额制度建设, 推进节水技术的推广。此外, 节水技术的推广难度较大, 加强小麦玉米节水技

表4 小麦玉米节水省肥模式评价指标值标准化处理

	传统高水肥	节水省肥	最少水肥投入	桓台高水肥		传统高水肥	节水省肥	最少水肥投入	桓台高水肥
np1	0.996837	1	0	0.833142	ne3	0.349783	0.548048	0	1
np2	1	0.815123	0	0.896924	ne4	0.349783	0.548048	1	0
np3	1	0.901944	0	0.868697	ne5	0	0.337229	1	0.926962
np4	0.666667	1	0.809524	0	ne6	0.349783	0.548048	1	0
np5	0.166667	0.291667	0	1	ne7	0.351759	0.547739	1	0
np6	0.857143	1	0.142857	0	ne8	0	0.339806	1	0.932039
ns1	0	0.678877	1	0	ne9	0.005168	0.302326	1	0
ns2	0	0.5	1	0	ne10	0	0.769231	0	1
ns3	0	0.5	1	0	ne11	1	1	1	1
ns4	0.003163	0	1	0.166858	ne12	1	1	1	1
ns5	0	0.184877	1	0.103076	ne13	0	0.8	0	1
ns6	0	0.092186	1	0.133212	ne14	1	1	1	1
ns7	0.925	0	0.275	1	ne15	1	1	1	1
ns8	0.523995	0	1	0.702983	ne16	0	0.785714	0	1
ns9	0.333333	0	0.222222	1	ne17	1	1	1	1
ns10	0.166667	0.277778	0	1	ne18	1	1	1	1
ns11	0.791667	1	0.166667	0	ne19	0.008075	0.620317	1	0
ne1	0.349783	0.548048	0	1	ne20	0	0.721649	1	0.862222
ne2	0	0.337229	0	0.073038	ne21	0.165811	0.535583	1	0

表5 小麦玉米节水省肥模式评价指标的熵和熵权

	h_i	w_i		h_i	w_i		h_i	w_i
np1	0.789968	0.017037	ns6	0.434067	0.07016	ne6	0.727106	0.033832
np2	0.789962	0.026039	ns7	0.708803	0.036101	ne7	0.727589	0.033772
np3	0.79118	0.025888	ns8	0.767483	0.028826	ne8	0.729219	0.03357
np4	0.782638	0.026947	ns9	0.643527	0.044193	ne9	0.407941	0.073399
np5	0.597633	0.049883	ns10	0.592082	0.050571	ne10	0.493846	0.062749
np6	0.647918	0.043649	ns11	0.662936	0.041787	ne13	0.495538	0.06254
ns1	0.486723	0.063633	ne1	0.727106	0.033832	ne16	0.494794	0.062632
ns2	0.459148	0.067051	ne2	0.33787	0.082086	ne19	0.50018	0.061964
ns3	0.459148	0.067051	ne3	0.727106	0.033832	ne20	0.786172	0.026509
ns4	0.308696	0.085703	ne4	0.727106	0.033832	ne21	0.651465	0.043209
ns5	0.488509	0.063411	ne5	0.72868	0.033636			

表6 小麦玉米4种水肥模式得分值

传统高水肥	节水省肥	最少水肥投入	桓台高水肥
0.30487	0.724539	0.87432	0.638136

术示范尤为重要。另外通过培训会等手段也是比较有效的技术推广手段^[22]。当一项农业创新出现后,总是先有“创新先驱者(如科技示范户、科技带头人等)”试着采用,以后逐渐才会有更多的人愿意接受这项创

新。因为创新先驱者富于冒险及创造精神,与一般农民相比,他们科学文化素质较高、外界联系较广、生产经营较好;同时,他们信息灵通、思维敏捷、富于创新、勇于改革,有强烈的改革要求。这些需要(原动力)激发起他们参与改革的动机(驱动力),促使他们克服各种“静摩擦”(即来自各方面的阻力),如传统观念的舆论压力、旁观者的冷嘲热讽以及万一失败引起的经济损失等^[23]。

参考文献

- [1] 王光宇.安徽省小麦生产投入产出及资源合理配置研究[J].农业经济问题,2008(3):55-59.
- [2] 裴冬,王振华,张喜英,等.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[J].中国生态农业学报,2006,4(2):180-184.
- [3] 马立辉,马军霞,赵玲,等.河北省农业节水灌溉技术比选[J].南水北调与水利科技,2007,5(2):67-69.
- [4] 钟志明,高旺盛.典型井灌区农田节水技术模式多目标综合评价[J].农业系统科学与综合研究,2002,18(1):35-37.
- [5] 王远,吴玉柏.几种主要节水灌溉技术的经济效益分析[J].水利经济,2002(6):35-40.
- [6] 李俊峰.灌溉工程环境影响评价的内容和方法探讨[J].水资源雨水工程学报,2006(1):33-38.
- [7] 李友华,丁乔,韦恒.大豆四种栽培模式的技术经济评价及其推广建议[J].农业技术经济,2006(2):67-73.
- [8] 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.
- [9] 门宝辉.选择节水灌溉方式的灰色关联投影法[J].沈阳农业大学学报,2004(5):476-479.
- [10] 张庆华,白玉慧,倪红珍.节水灌溉方式的优化选择[J].水利学报,2002(1):47-51.
- [11] 陈新明,刘立库,王玉宝,等.节水灌溉技术方案的优化设计[J].水资源与环境学报,2005,16(1):52-55.
- [12] 张志政,王毅,苏静.利用层次分析法优化选择节水灌溉方式[J].农机化研究,2008(4):55-58.
- [13] 常立峰,马哲理,张来文.节水灌溉方式的优化选择[J].黑龙江水利科技,2004(1):65-66.
- [14] 郭文献,徐建新,卢双宝.模糊物元模型在节水灌溉方式优选中的应用[J].中国农村水利水电,2006(5):27-33.
- [15] 胡永宏,贺思辉.综合评价方法[M].北京:科学出版社,2000:32-33.
- [16] 杨保安,张科静.多目标决策分析[M].上海:东华大学出版社,2008:20-21.
- [17] 刘艺梅,杨锦秀,杨启智,等.基于熵权的农民工对流出地影响的模糊综合评价[J].农业技术经济,2008(4):28-29.
- [18] 贾艳红,赵军,南中仁,等.基于熵权法的草原生态安全评价[J].生态学杂志,2006,25(8):1004-1008.
- [19] 黄曼丽,朱凌,尹华.基于熵权的多目标综合评价方法在水利工程中的应用[J].中国农村水利水电,2008(12):100-102.
- [20] 王军.农业生态安全的理论与实践[M].北京:中国农业出版社,2009:44-66.
- [21] 王军,何玲,董谦,等.河北省农业生态安全障碍度评价与对策研究[J].农业现代化研究,2010,31(1):83-84.
- [22] 刘晓敏,王慧军,李运朝.农户采用小麦玉米农艺节水技术意愿影响因素的实证分析[J].安徽农业科学,2010(12):6540-6541.
- [23] 刘晓敏,陶佩君.“定县实验”中的表证农家与现代参与式农业推广方式探究[J].古今农业,2004(2):56-58.