

西辽河流域春玉米节水灌溉模式评价与优选

戚迎龙^{1,2}, 李彬¹, 赵举¹, 张建华³, 李敏⁴,
李经伟⁵, 包额尔敦噶³, 冯晔³, 杨玉芬⁶

(1. 内蒙古农牧业科学院资源环境与检测技术研究所, 内蒙古 呼和浩特 010031; 2. 内蒙古农业大学水利与土木建筑工程学院, 内蒙古 呼和浩特 010018; 3. 通辽市农业科学研究院, 内蒙古 通辽 028000; 4. 包头师范学院, 内蒙古 包头 014030; 5. 内蒙古水利科学研究院, 内蒙古 呼和浩特 010020; 6. 内蒙古河套灌区解放闸灌域管理局, 内蒙古 巴彦淖尔 015400)

摘要:为探究西辽河流域春玉米适宜节水灌溉模式,以低压管道畦田灌、膜下滴灌、浅埋不覆膜滴灌和平移式喷灌4种玉米节水灌溉模式应用过程中的“经济-技术-环境”效益为评价准则,构建了层次分析模型,引入项目研究与调研取得的数据结合专家模糊语言集,改进了经典层次分析法,对不同灌溉模式做出系统性的综合评价。结果表明:低压管道畦田灌生育期内仅在农资及灌溉材料上节约投入,而其灌溉过程人工与电力投入时间长、费用高、追肥农机与相应人工投入大,经济效益得分最低(0.2613)。膜下滴灌对比不覆膜浅埋滴灌有更好的节水效果、对比平移式喷灌有更好的运行维护便捷性与应用地形适应性,技术效果综合得分最高(0.0671)。计算各层级权重向量与隶属函数值结果表明,现今残膜污染已引起专家学者们的高度重视与担忧,亟需理论与技术方面的研发来应对。浅埋不覆膜滴灌较高的经济效益得分(0.3692)和环境效益得分(0.577)使其总分排序第一,可获得较好的综合效益,建议在该区域适度推广与应用。

关键词:节水灌溉;效益分析;综合评价;浅埋不覆膜滴灌;层次分析法

中图分类号:S275 **文献标识码:**A

Evaluation and optimal selection of water-saving irrigation mode for spring maize in West Liao River Basin

QI Ying-long^{1,2}, LI Bin¹, ZHAO Ju¹, ZHANG Jian-hua³, LI Min⁴, LI Jing-wei⁵,
BAO Eerdunga³, FENG Ye³, YANG Yu-fen⁶

(1. Institute of Resources and Environment and Testing Technology of Inner Mongolia Academy of Agricultural and Animal Husbandry Science, Hohhot, Inner Mongolia 010031, China; 2. Water Conservancy and Civil Engineering College of Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010018, China; 3. Institute of Agricultural Science of Tongliao, Tongliao, Inner Mongolia 028000; 4. Baotou Normal College, Baotou, Inner Mongolia 014030, China; 5. Institute of Water Conservancy Science of Inner Mongolia Municipality, Hohhot, Inner Mongolia 010020, China; 6. Jiefangzha Management Bureau of Hetao Irrigation District in Inner Mongolia, Bayannur, Inner Mongolia 015400, China)

Abstract: In order to explore the suitable water saving irrigation model for spring maize in West Liaohe River Basin, using the benefits of “economy-technology-environment” as evaluating criteria for the four water-saving irrigation modes as low pressure pipe border irrigation, drip irrigation under plastic film mulch, shallow buried no mulch drip irrigation and horizontal mobile sprinkler irrigation, has established the hierarchical analysis model, improved the classical hierarchy analysis method by introduction of the data obtained by project research and investigation, combined with the expert fuzzy language set, made out the systemic comprehensive evaluation for the different irrigation modes. The results showed that: Low pressure pipe border irrigation could save investment only on agricultural capital and irrigation materials, but it needs much longer time and high cost for artificial and electric

power input during irrigation process, also need higher cost for agricultural machinery for top dressing, so the score of economic benefit was the lowest (0.2613). The drip irrigation under film mulch comparing with shallow buried drip irrigation, possessed much better water-saving effect, and comparing with the horizontal mobile sprinkler irrigation, possessed more convenience for operation and maintenance and adaptability for terrain application. So the comprehensive score of technical effect was the highest (0.0671). The calculated results of weight vector and subordinative function value for each hierarchy showed that the residual membrane pollution has caused great attention and worry by experts and scholars, urgent need the theoretical and technological research and development to reply. The shallow buried no mulch drip irrigation possessed rather high economic benefit score (0.3692) and environmental benefit score (0.577), so the total score was sorted the first and can be obtain rather good comprehensive benefits. So it was suggested that can be appropriately popularized and applied in this area.

Keywords: water saving irrigation; benefit analysis; comprehensive evaluation; shallow buried no mulch drip irrigation; hierarchy analysis method

农业水资源短缺已经成为制约我国农业可持续发展的“结症”，而破解危机，关键在于农业生产高效用水^[3]。因此节水灌溉新技术及新模式的研发已成为迫切需求，也是持续性的研究热点。现代节水灌溉技术已是工程节水与农艺节水相互结合并进的综合技术，主要包括非充分灌溉、调亏灌溉、地面覆盖、渠道防渗、低压管道输水、喷滴灌、渗灌、痕量灌溉等^[4]。对于东北四省区，近几年主要规模化发展微灌、喷灌、管道输水灌溉，其中微灌（主要是膜下滴灌）发展面积约占 54%^[5]。大规模的应用膜下滴灌后，残膜污染危害逐渐显现，浅埋不覆膜滴灌开始尝试，但应用面积少，缺乏相应的机理性研究以及应用效果考察，优缺点尚待论证。覆膜栽培增温可保墒、增产保肥、降低地表蒸发、提高水肥利用率^[6-8]，但地膜在自然条件下极难分解，可残存于土壤 200~400 年^[9]，部分地膜生产企业对国家标准执行力缺失，广泛生产超薄地膜，对污染与回收带来了诸多不便^[10]。严昌荣等^[11]研究表明，地表—土壤系统残留地膜既恶化了土壤结构又破坏了农作物生长发育的平衡态，增产需要承担农业生态环境恶化与未来多年连续减产的双风险。

本文以西辽河流域玉米种植为作物依托，采用课题研究数据结合实地考察资料与专家评语征集，利用改进层次分析法，从多方面系统性地评价西辽河流域气候条件的灌溉、栽培模式，旨在初步探索适宜该地区的技术模式，为当地玉米种植提供一定的指导意见。

1 材料与方法

1.1 研究区域

1.1.1 研究区概况 西辽河流域地处大兴安岭东

南麓和燕山北麓夹角带，属我国古文明发源地，人—地系统也随着历史进程在改变与演化着^[17-18]。该流域面积 13.6 万 km²，是国家西部大开发战略重点区，其作为内蒙古重要的产粮基地，2010 年粮食产量近 1000 万 t，种植玉米达 60% 以上^[19]。年均气温 5.0~6.5℃，日照时数 2800~3100h，相对湿度 45%~58%，降雨量 300~400mm，蒸发量 1199~2200mm，大部分区域处在半干旱季风气候区，水资源总量多年平均 70.2 亿 m³，地下水资源量多年平均 53.73 亿 m³，西辽河流域 2015 年地表水及地下水供水量分别为 7.94 亿 m³ 及 34.98 亿 m³，农田用水量 30.56 亿 m³，占水资源供给量的 71.2%，该区域玉米种植不同灌溉模式均以井灌水源为主。

1.1.2 考察地选择 实地调研考察区选择要求至少满足以下条件之一：（1）具备一种以上玉米种植与灌溉技术模式；（2）针对某种新兴技术模式有一定的应用面积或应用时间；（3）国家或地方科研项目实施区、节水工程项目建设区。本次调研区选择通辽市科尔沁左翼后旗查金台牧场、科尔沁左翼中旗腰林毛都镇南塔林艾勒嘎查、科尔沁左翼中旗舍伯吐镇前章古台嘎查、科尔沁区钱家店镇、开鲁县。其中科尔沁区钱家店镇是通辽市农业科学研究院的试验基地及内蒙古农牧业创新基金“西辽河玉米水肥减量与增效技术研究”的实施区；科尔沁左翼中旗腰林毛都镇是东北四省区节水增粮行动节水工程建设区。

1.2 研究方法

1.2.1 模式优选方法与评价模型构建 随着经济社会发展，农业生产中利用水肥资源及采取农业、水利技术措施不再是以追求绝对高产为首要目的，而是提出了可持续发展与供给协调的新要求，其关

键在保障国家粮食安全前提下关注农业资源的高效利用与保护生态环境的长远目标。可见区域性节水农业发展规划要多方面地统筹兼顾来提出适宜的灌溉与种植模式。本次西辽河流域节水灌溉种植模式效益评价与优选通过拟定多种评价视角、分别选择多个评价指标,利用层次分析法^[20-21]结合课题研究获得的试验数据与资料,量化各个评价指标,得出层次结构中各个项目的权重值结合统一量

纲的指标值,得到低压灌溉畦田灌(M1)、膜下滴灌(M2)、浅埋不覆膜滴灌(M3)、平移式喷灌(M4)各模式的最终得分,初步提出适宜的灌溉、栽培模式(图1),该方法可降低仅采用多位专家打分制导致计算所得各级权重过分主观的弊端,将实际课题研究及农户走访中获得的数据与专家评价所得模糊集合数据分别应用于不同的评价指标,通过主、客观数据相结合改进了层次分析法。

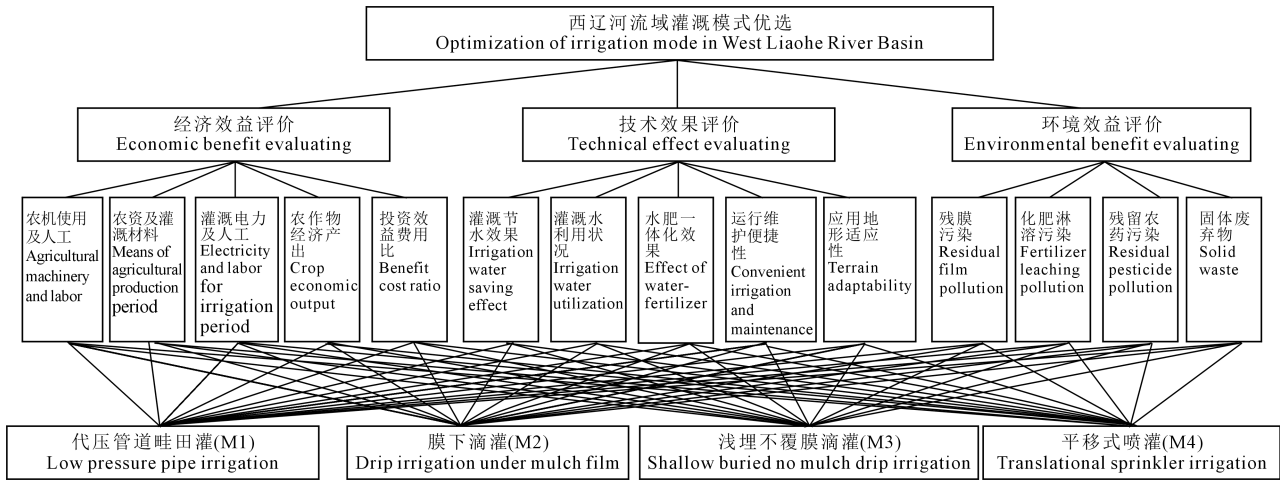


图 1 节水灌溉模式评价网络体系

Fig.1 Theevaluating network system for thewater saving irrigation modes

1.2.2 数据获取与应用方法 该典型区域指标层中的机械使用及人工、农资产及灌溉材料、灌溉时电力与人工、农作物经济产出、投资效益费用比、灌溉节水效果、灌溉水利用情况各指标采用调研考察采集和课题试验研究过程中获得的量化数据以及引用文献^[22],可通过简单的数学方法消除量纲,直接参与评价优选,而地形适应性、水肥一体化效果、运行维护便捷性、残膜白色污染、化肥淋溶污染、残留农药污染、农业生产废弃物各指标通过设计一定的规范化评价语言指令集,邀请节水灌溉、农业栽培、农田资源环境相关领域的专家合计 15 人进行指标评价,而每个专家的主观的评语约定为区间[0,1]内的具体隶属度(专家评语设计值; $S=\{S_1(\text{很好}), S_2(\text{较好}), S_3(\text{适中}), S_4(\text{较差}), S_5(\text{很差})\}$,对应模糊语言设计值 $T=\{1,0.8,0.6,0.4,0.2\}$),然后在不同模式下分别对各评价指标的所有专家评语隶属度值取平均,得到该指标的量化隶属函数值。采用 Excel 2016 分析数据与绘制表格,相关矩阵计算采用 Matlab 2015b 软件对 Excel 计算值做二次校核。

2 结果与分析

2.1 数据规范化处理

评价指标中客观数据分别具有各自的量纲,不便于层次内比较分析与数学计算,故通过将指标数据与序列内的最大值相除得到的相对值即为规范化指标,而这样得出的规范化数值虽然均在[0,1]内,但不同的评价角度与分析指标中有些是大则为优,有些是小则为优,故需要将实际数据中小而为优的数据进行处理,使得进入评价体系计算时的规范化无量纲数值均为大者为优^[23],计算方法见下式(1)。经济效益、技术效果、环境效益评价中各指标进行同趋势规范化处理,得出指标层内各模式的规范化数值见表 1、2。

$$E_{ii} = \frac{E_i}{E_{\max}}, \quad E_{ij} = \frac{E_{\max} + E_{\min} - E_i}{E_{\max}} \quad (1)$$

式中, E_{ii}, E_{ij} 分别为规范化指标值; E_i 为原指标值; $E_{\max}$ 为最大指标值; $E_{\min}$ 为最小指标值。

表 1 不同节水灌溉模式经济效益指标

Table 1 Economic benefit index for different water-saving irrigation modes

模式 Mode	生育期投入 Growth period investment						经济产出 Economic output					
	农机及人工 Agricultural machinery and labor		农资及灌溉材料 Agricultural and irrigation materials		灌溉电力与人工 Irrigation electricity and labors		玉米籽粒及秸秆 Maize grain and straw		灌溉材料回收 Irrigation material recycling		效益费用比 Benefit cost ratio	
	原数据 Raw data	规范化 Standard- dization	原数据 Raw data	规范化 Standard- dization	原数据 Raw data	规范化 Standard- dization	原数据 Raw data	规范化 Standard- dization	原数据 Raw data	规范化 Standard- dization	原数据 Raw data	规范化 Standard- dization
	/(yuan · hm ⁻²)		/(yuan · hm ⁻²)		/(yuan · hm ⁻²)		/(yuan · hm ⁻²)		/(yuan · hm ⁻²)		/(yuan · hm ⁻²)	
M1	2250	1	2460	1	1297.5	0.182	16875	0.815	0	0	2.809	0.808
M2	3000	0.75	4470	0.55	236.25	1	20700	1	375	1	2.735	0.787
M3	2325	0.975	3885	0.681	261.6	0.98	19425	0.938	375	1	3.06	0.88
M4	2250	1	2685	0.95	286.95	0.961	18150	0.877	0	0	3.476	1

表 2 不同节水灌溉模式技术效果及环境效益指标

Table 2 The technical effects and environmental benefit index for different water-saving irrigation modes

模式 Mode	灌溉量 Irrigation amount		田间灌溉水利用率 Irrigation water use coefficient		水肥一体 化效果 Effect of water- fertilizer	灌溉及维 护便捷 Convenient irrigation and maintenance	地形适 应性 Terrain adaptability	残膜污染 Residual film pollution	化肥淋溶 Fertilizer leaching	农药污染 Pesticide pollution	固体 废弃物 Solid waste
	原数据	规范化	原数据	规范化							
	Raw data	Standar- dization	Raw	Standar- dization							
	/(yuan · hm ⁻²)		data/%								
M1	360	0.583	0.841	0.93	0.24	0.493	0.573	1	0.253	0.267	0.947
M2	210	1	0.904	1	0.933	0.914	0.987	0.2	0.987	0.92	0.253
M3	232	0.939	0.892	0.987	0.867	0.947	0.987	1	0.92	0.893	0.52
M4	255	0.875	0.87	0.962	0.773	0.813	0.76	1	0.893	0.88	0.68

2.2 各层评价指标权重计算

2.2.1 构造比较矩阵与判断矩阵 比较矩阵构造时可以选择三标度法或者 1~9 标度法,两种方法均有各自的优缺点。该研究为了在请教专家对各层指标两两比较中降低模棱两可的权重语言,而采用简明直接的三标度法,减少了专家在 1~9 标度的模糊语言匹配中产生的误差。专家咨询问卷设计为简洁明了的决策勾选形式(两指标者相比:☑前者重要☐同样重要☐后者重要),即可获得比较矩阵(2),然后用极比法转换为判断矩阵^[23]为正互反矩阵(3)。

$$A(B) = (\alpha_{ij}) = \begin{bmatrix} A(B) & B_1 & B_2 & B_3 & r_i \\ B_1 & 1 & 2 & 0 & 3 \\ B_2 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ B_3 & 2 & 2 & 1 & 5 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$A'(B') = (\beta_{ij}) = \begin{bmatrix} A'(B') & B_1 & B_2 & B_3 \\ B_1 & 1.000 & 4.481 & 0.498 \\ B_2 & 0.223 & 1.000 & 0.111 \\ B_3 & 2.009 & 9.000 & 1.000 \end{bmatrix} \quad (3)$$

比元素相对重要程度,一般取 9)。

2.2.2 矩阵计算与层次排序 计算出判断矩阵的归一化条件下的特征向量 W_i 及最大特征值 $\lambda_{\max}$,向量 W_i 中各元素即为该层次指标对向上一层某指标重要性权重值,组成的权重向量见公式(4) 即得出层次单排序,并计算判断矩阵与权重向量的乘积见公式(5)。

$$(w_i) = \frac{\sqrt[n]{\prod_{j=1}^n \beta_{ij}}}{\sum_{i=1}^n \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n \beta_{ij}}} = \begin{bmatrix} w_i \\ 0.309 \\ 0.069 \\ 0.622 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$(\tau_i) = \begin{bmatrix} A'(B') & B_1 & B_2 & B_3 \\ B_1 & 1.000 & 4.481 & 0.498 \\ B_2 & 0.223 & 1.000 & 0.111 \\ B_3 & 2.009 & 9.000 & 1.000 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} w_i \\ 0.309 \\ 0.069 \\ 0.622 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tau_i \\ 0.928 \\ 0.207 \\ 1.865 \end{bmatrix} \quad (5)$$

其中 $f(r_i, r_j) = (\beta_{ij}) = \left\{ \left(\frac{r_i}{r_j} \right) \log_r C_b \right\}; r = \frac{r_{\max}}{r_{\min}}, C_b$ (极

$$\lambda_{\max}^B = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\tau_i}{w_i} = 3.0001$$

用同样的方法,构造准则层 B 对指标层 C 的比较矩阵与判断矩阵,并计算出指标层 C 各评价因子对准则层 B 相应项目的重要性权重向量以及相应的 $\lambda_{\max}$ 值。

$$(w_i^{C_1}) = \begin{bmatrix} 0.115 \\ 0.198 \\ 0.036 \\ 0.325 \\ 0.325 \end{bmatrix}; (w_i^{C_2}) = \begin{bmatrix} 0.261 \\ 0.411 \\ 0.046 \\ 0.087 \\ 0.195 \end{bmatrix}; (w_i^{C_3}) = \begin{bmatrix} 0.394 \\ 0.394 \\ 0.168 \\ 0.044 \end{bmatrix}$$
$$\lambda_{\max}^{C_1} = 4.997; \lambda_{\max}^{C_2} = 5.001; \lambda_{\max}^{C_3} = 3.999$$

2.1.3 一致性检验 一致性检验主要是在验证应用 $\lambda_{\max}$ 对应 W_i 作权重值对上层因素影响的误差是否在一定允许程度内,通过公式(1)、(2)、(3) 计算与检验。

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1}$$
$$RI = \frac{CI_1 + CI_2 + \cdots CI_{500}}{500} = \frac{\lambda_1 + \lambda_2 + \cdots \lambda_{500} - n}{n - 1}$$
$$CR = \frac{CI}{RI}$$

式中, CI 为一致性指标; RI 为随机一致性指标; CR 为一致性比率; λ 为最大特征值; n 为矩阵阶数;

随机构造 500 个成对比较矩阵,采用随机一致性指标 RI 衡量 CI 的大小,各矩阵阶数对应的 RI 值直接采用美国国家工程院院士 Thomas L. Saaty 的结果如表 3^[12]。

一般,当 $CR<0.1$ 时,可认为不一致程度在允许

限制内,满意一致性检验通过,可直接使用其权重向量,若检验不通过,则需调整对比矩阵中元素值将其重新构造。经计算 $CR_{(B)} = 5.0 \times 10^{-5}$, $CR_{(C1)} = 0.00075$, $CR_{(C2)} = 0.00025$, $CR_{(C3)} = 0.00033$,均小于 0.1,通过一致性检验,有满意的一致性。

2.3 灌溉模式综合评价结果

改进层次分析法不对方案层进行判断矩阵的构建及权重计算,而是将各评价指标的权重值分别乘以对应指标的同趋势规范化值并累加求和(实际课题研究及调研考察数据、模糊语言求得的隶属函数值)所得的无量纲综合评价得分来找到较优的节水灌溉模式。通过层次结构内下层权重与上级权重逐级相乘,得出各具体指标的总权重见表 4,并与各指标规范值相乘累加求和得出各节水灌溉模式最终评分。低压管道畦田灌虽然在玉米种植生育期节约了农资及灌溉材料方面的投入,得分表现最高,但综合经济效益最终得分最低;农作物经济产出得分以膜下滴灌最高,地膜覆盖在西辽河流域增温保墒的效应对产量仍有一定贡献,但考虑了生育期的各种投入及投资效益费用比后,综合经济效益得分低于浅埋不覆膜滴灌。浅埋不覆膜滴灌与膜下滴灌对比低压管道畦田灌与平移式喷灌有更好的地形适应性,膜下滴灌节水效果最好,综合技术效果得分最高。综合考虑经济效益、技术效果、环境效益,本次西辽河流域春玉米节水灌溉模式评价以浅埋不覆膜滴灌得分最高。

表 3 不同阶数矩阵随机一致性指标 RI

Table 3 Random consistency index of different order matrix RI

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51

3 结论与讨论

3.1 讨论

(1)层次分析法在水土资源评价、节水灌溉技术优选、节水工程生态效益评价等^[13-16]多种水问题的研究中起到了重要的贡献,灵活应用于多准则、多指标决策体系,通过将主观判断转化为模糊数学语言,实现了有条理有层次的科学评价,而针对该

方法的缺点,学者们也从方法中的数学计算以及与其它方法相结合来不断地改进与完善^[20-23]。本次研究对层次分析法的改进重点在于加入实际监测和调研考察数据来尽量平衡经典层次分析法过于主观的核心缺陷,优化为一种主、客观相结合的评价体系,而现阶段该体系中主观模糊语言部分即可作为下一阶段的研究重点,每一项宏观指标均是一个研究方向。

表 4 各评价指标在系统中的总权重

Table 4 The total weight of each evaluation index in the system

层次结构 Hierarchical structure			层次权重 Hierarchy weight		最终无量纲得分 Final dimensionless score			
目标层 Target layer	准则层 Criterion layer	指标层 Index layer	指标单权重 Index weight	指标总权重 Index total weight	M1	M2	M3	M4
优选节水 灌溉模式 Optimized water-saving irrigation mode	经济效益 Economics benefit	农机及人工 Agricultural machineryand labors	0.115	0.036	0.0360	0.0270	0.0351	0.0360
		农资及灌溉材料投入 Agricultural and irrigation materials	0.198	0.061	0.0610	0.0336	0.0415	0.0580
		灌溉时电力与人工 Irrigationelectricity and labors	0.036	0.011	0.0020	0.0110	0.0108	0.0106
		农作物经济产出 Crop economic output	0.325	0.100	0.0815	0.2000	0.1938	0.0877
		投资效益费用比 Benefitandcost ratio	0.325	0.100	0.0808	0.0787	0.0880	0.1000
		Σ			0.2613	0.3503	0.3692	0.2923
	技术效果 Technical effect	灌溉节水效果 Irrigation water saving effect	0.261	0.018	0.0105	0.0180	0.0169	0.0158
		灌溉水利用 Irrigation water utilization	0.411	0.028	0.0260	0.0280	0.0276	0.0269
		水肥一体化效果 Effect of water-fertilizer	0.046	0.003	0.0007	0.0028	0.0026	0.0023
		运行维护便捷性 Convenient irrigation and maintenance	0.087	0.006	0.0030	0.0055	0.0057	0.0049
		地形适应性 Terrain adaptability	0.195	0.013	0.0074	0.0128	0.0128	0.0099
		Σ			0.0476	0.0671	0.0656	0.0598
	环境效益 Environmental benefit	残膜污染 Residual film pollution	0.394	0.245	0.2450	0.0490	0.2450	0.2450
		化肥淋溶污染 Fertilizer leaching	0.394	0.245	0.0620	0.2418	0.2254	0.2188
		残留农药污染 Residual pesticide pollution	0.168	0.104	0.0278	0.0957	0.0929	0.0915
		固体废弃物 Solid waste	0.044	0.027	0.0256	0.0068	0.0140	0.0184
		Σ			0.3604	0.3933	0.5773	0.5737
总评分/总排序 Total score/Ranking					0.6693 /(4)	0.8107 /(3)	1.0121 /(1)	0.9258 /(2)

(2)地膜白色污染日益严重,土壤地膜残留量长期积累下去必然会越过环境承载力的底线,而针对地膜残留的两种现有解决方法:机械回收和降解膜应用,而这两种方法在现有技术能力下并不能根本上解决问题。地膜零使用是从根本解决农田白色污染问题的方法,但对于水肥一体化点源灌溉施肥技术,地膜覆盖对出苗和产量等综合效应均有增效^[24,25],这就呈现出无法协调兼顾的矛盾。针对上述矛盾,不覆膜浅埋滴灌开始在西辽河流域小面积推广应用,该新型节水灌溉方式的特点是:地膜零使用,用浅埋土层代替地膜以减少棵间蒸发,且为保障灌水效果的同时降低投入,其滴灌带使用廉价的迷宫式滴灌带,每年更换一次。然而,这种新型节水灌溉方式是否能够统筹兼顾粮食产量和环境

保护,仍然是科技工作者的首要任务与难点;在本次研究实地考察中发现不覆膜浅埋滴灌的埋深深度缺乏科学论证,目前,浅埋式滴灌公认的埋深深度为 3~8cm^[26-28],但在实地调查发现,当埋深在 3cm 左右时,在玉米生育中期,玉米根系可能会将滴灌带挤压而导致滴灌带输水不畅;当埋深太深时,由于使用的是迷宫式滴灌带,土层又可能导致滴头堵塞。究竟哪一种玉米品种能够配合该种灌溉方式使用,以弥补玉米生育前期土层代替地膜后造成土壤温度降低的问题,至今也没有相关报告。对上述问题的回答都将是今后研究的重点。

3.2 结论

本文以节水灌溉模式的经济效益、技术效果、环境效益为评价准则构建了层次分析网络模型,并

将各级层次中客观数据与主观模糊语言统一规范化,逐层计算与分析结果表明:

(1)西辽河流域不同节水灌溉模式种植玉米在一个生产期内的优劣表现为:经济效益浅埋不覆膜滴灌>膜下滴灌>平移式喷灌>低压管道畦田灌;技术效果膜下滴灌>浅埋不覆膜滴灌>平移式喷灌>低压管道畦田灌;环境效益浅埋不覆膜滴灌>平移式喷灌>膜下滴灌>低压管道畦田灌。

(2)低压管道畦田灌虽然在生育期农资及灌溉材料方面节约投入,但经济效益最终得到 0.262,为最低分。随着经济社会发展,劳动力分配于农业生产比例降低,人工费增高,畦田灌过程中铺设田间低压软管、筑畦田围水垄以及按面积划分畦田依次灌溉都需要较长时间的人力投入,追肥方式采用农机施入,灌溉定额高引起灌溉电力用量大,这些因素共同作用下显著降低了其经济效益。

(3)技术效果膜下滴灌得分 0.068 分,评价为最优,对比不覆膜浅埋滴灌有更好的节水效果,对比平移式喷灌有更好的运行维护便捷性与应用地形适应性。

(4)本次研究所获得的主观模糊语言,经计算得出不同灌溉模式的环境效益各指标权重较高,残膜白色污染与化肥淋溶污染尤为突出,可见相关领域专家对西辽河玉米种植中,更为关注农业生产的环境效应,关注长远的可持续发展要求。西辽河流域采用浅埋不覆膜滴灌种植玉米可获得较好的综合效益,建议在该区域适度推广与应用。

参 考 文 献:

- [1] 中华人民共和国水利部.2015 年中国水资源公报[R]. 中华人民共和国水利部, 2017-01-19.
- [2] 倪文进. 中国农村水利发展状况与科技需求[J]. 农业工程学报, 2010, 26(3):1-8.
- [3] 康绍忠, 霍再林, 李万红. 旱区农业高效用水及生态环境效应研究现状与展望[J]. 中国科学基金, 2016(3):208-212.
- [4] 楼豫红. 区域节水灌溉发展水平综合评价研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2014: 1-12.
- [5] 王建东, 龚时宏, 许迪, 等. 东北节水增粮玉米膜下滴灌研究需重点关注的几个方面[J]. 灌溉排水学报, 2015, 34(1):1-4.
- [6] Hou X Y, Wang F X, Han J J, et al. Duration of plastic mulch for potato growth under drip irrigation in an arid region of Northwest China[J]. Agricultural & Forest Meteorology, 2010, 150(1):115-121.
- [7] Zhao H, Xiong Y C, Li F M, et al. Plastic film mulch for half growing-season maximized WUE and yield of potato via moisture-temperature improvement in a semi-arid agroecosystem[J]. Agricultural Water Management, 2012, 104(2):68-78.
- [8] 刘洋, 栗岩峰, 李久生, 等. 东北半湿润区膜下滴灌对农田水热和玉米产量的影响[J]. 农业机械学报, 2015(10):93-104.
- [9] 舒帆. 我国农用地膜利用与回收及其财政支持政策研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2014:1-7.
- [10] 刘艳霞. 中国农村地膜残留污染现状及治理对策思考[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2014: 5-10.
- [11] 严昌荣, 梅旭荣, 何文清, 等. 农用地膜残留污染的现状与防治[J]. 农业工程学报, 2006, 22(11):269-272.
- [12] 薛居征. 基于层次分析法的群决策方法及应用研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2011.
- [13] 贺延国, 付强, 邢贞相, 等. 东北半干旱地区节水灌溉技术组装模式优选研究[J]. 灌溉排水学报, 2006, 25(2):81-84.
- [14] 佟长福, 郭克贞, 赵淑银, 等. 基于层次分析法的牧区节水灌溉示范工程生态效益评价[J]. 干旱地区农业研究, 2008, 26(2):139-143.
- [15] 薛小杰, 黄四霞, 张泽中. 水资源承载力可拓评价模型的改进及应用[J]. 干旱地区农业研究, 2012, 30(2):175-180.
- [16] 杨飞, 姚作芳, 刘兴土, 等. 松嫩平原的粮食生产潜力分析及建议[J]. 干旱地区农业研究, 2013, 31(3):207-212.
- [17] 胡金明, 崔海亭, 李宜垠. 西辽河流域全新世以来人地系统演变历史的重建[J]. 地理科学, 2002, 22(5):535-542.
- [18] 王慧合, 乌兰图雅. 科尔沁沙地耕地动态变化及驱动力分析[J]. 北方农业学报, 2016, 44(1):69-71.
- [19] 杨艳昭, 杨玲, 张伟科, 等. 西辽河流域玉米水分平衡时空分布格局[J]. 干旱区资源与环境, 2014, 28(4):147-152.
- [20] 李壮阔, 薛有添. 基于粒子群算法的模糊层次分析法改进及其应用研究[J]. 运筹与管理, 2013(4):139-143.
- [21] 白巴特尔, 郑和祥, 李和平, 等. 多年生牧草地埋式滴灌综合节水技术集成模式研究[J]. 节水灌溉, 2016(8):175-181.
- [22] 李经纬, 申利刚, 张文丽. 不同灌溉形式下玉米全生产期投入产出与效益分析[J]. 节水灌溉, 2016(5):106-109.
- [23] 朱方霞, 陈华友. 区间多属性决策问题研究综述[J]. 模糊系统与数学, 2013, 27(3):149-159.
- [24] 戚迎龙. 西松辽平原玉米滴灌水氮耦合及地膜覆盖影响效应研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2016: 62-65.
- [25] 刘洋, 栗岩峰, 李久生, 等. 东北半湿润区膜下滴灌对农田水热和玉米产量的影响[J]. 农业机械学报, 2015, 46(10):93-104.
- [26] 王金魁. 浅埋式滴灌技术在北疆牧区苜蓿种植的应用性探讨[J]. 内蒙古水利, 2016(9):53-54.
- [27] 韩方军. 浅谈牧草浅埋式滴灌技术示范与推广项目的实施[J]. 新疆水利, 2014(5):19-21.
- [28] 郑梅峰. 干旱地区苏丹草浅埋式滴灌技术[J]. 吉林农业, 2016(3):112-112.
- [29] 李彬, 妥德宝, 程满金, 等. 水肥一体化条件下内蒙古优势作物水肥利用效率及产量分析[J]. 水资源与水工程学报, 2015, 26(4):216-222.