



农业资源与环境学报

CSCD 核心期刊
中文核心期刊
中国科技核心期刊

JOURNAL OF AGRICULTURAL RESOURCES AND ENVIRONMENT

欢迎投稿 <http://www.aed.org.cn>

丹江口水源涵养区绿色高效农业技术评价

黄治平, 刘志培, 陈咄圳, 肖能武, 孔豪, 张耕涛, 张丹丹, 郑向群

引用本文:

黄治平, 刘志培, 陈咄圳, 肖能武, 孔豪, 张耕涛, 张丹丹, 郑向群. 丹江口水源涵养区绿色高效农业技术评价[J]. 农业资源与环境学报, 2022, 39(6): 1271–1282.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13254/j.jare.2021.0569>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

丹江口水库总氮、氨氮遥感反演及时空变化研究

刘轩, 赵同谦, 蔡太义, 肖春艳, 陈晓舒, 张文静

农业资源与环境学报. 2021, 38(5): 829–838 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2021.0195>

茶园化肥减施增效技术模式社会经济效果评价——以闽东绿茶区为例

冉秦, 吴道宁, 吴志丹, 花文元, 罗良国

农业资源与环境学报. 2022, 39(3): 536–544 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2021.0036>

丹江口市土壤侵蚀敏感性时空变化特征

马方正, 于兴修, 胡砚霞, 李明蔚, 程思, 王星峰, 肖娟花

农业资源与环境学报. 2021, 38(6): 999–1009 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0564>

河北省浅层地下水超采区土地休耕适宜性评价

李晓婕, 丁蓓蓓, 张雪靓

农业资源与环境学报. 2022, 39(5): 990–1000 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2021.0579>

水稻作物化肥减施增效技术评价指标体系构建

尼雪妹, 罗良国, 李宁辉, 王娜娜, 潘亚茹, 杨森

农业资源与环境学报. 2018, 35(4): 301–310 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0059>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

黄治平, 刘志培, 陈咄圳, 等. 丹江口水源涵养区绿色高效农业技术评价[J]. 农业资源与环境学报, 2022, 39(6): 1271–1282.

HUANG Z P, LIU Z P, CHEN P Z, et al. Evaluation of green and efficient agro-technologies in the Danjiangkou water conservation area[J].

Journal of Agricultural Resources and Environment, 2022, 39(6): 1271–1282.



开放科学 OSID

丹江口水源涵养区绿色高效农业技术评价

黄治平¹, 刘志培², 陈咄圳¹, 肖能武², 孔豪¹, 张耕涛¹, 张丹丹¹, 郑向群^{1*}

(1. 农业农村部环境保护科研监测所, 天津 300191; 2. 十堰市农业科学院, 湖北 十堰 442000)

摘要:本研究应用层次分析法从经济效益、技术可推广性和环境效益3个维度对丹江口水源涵养区示范的13项技术是否符合绿色高效农业特征进行评价,为可复制、可推广的技术在该区域及类似区域应用提供技术支持。通过收集研发专家的技术试验和示范数据以及地方专家对评价指标重要性的判断和各技术指标估值调查问卷数据,利用Yaahp软件对收集问卷的重要性判断表的准则层、子准则层和指标层的各指标进行权重值(q_i)计算。依照生态补偿测算相关方法对量化指标的技术示范测算值进行估算,然后结合各技术量化指标取值范围均值计算单项量化指标评分分值,其他定性指标评分分值取调查问卷均值。根据各单项指标评分分值与权重,计算各技术的评价总分。评价结果表明:经济效益、技术可推广性和环境效益3个维度指标的权重设置符合绿色高效农业技术评价体系的属性和特征,依据技术实施效果得到的综合评分可用于评价丹江口水源涵养区示范的农业技术。从综合评价得分来看,丹江口水源涵养区示范的13项技术取得较好效果,其中3项技术大于8分,8项技术大于7分,2项技术大于6分,尤其是养殖废弃物农田安全高效消纳、低氮磷排放环保饲料配制、魔芋病害防控3项技术综合评价得分大于8分,综合评价为优秀。总体上综合得分合格率为100%,良好率为61.54%,优秀率为23.08%。研究表明,丹江口水源涵养区示范的13项技术为绿色高效农业技术,适于在该区域及类似区域推广应用。

关键词:绿色高效农业技术;层次分析法;评价;丹江口;水源涵养区

中图分类号:F323.3

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2022)06-1271-12

doi: 10.13254/j.jare.2021.0569

Evaluation of green and efficient agro-technologies in the Danjiangkou water conservation area

HUANG Zhiping¹, LIU Zhipei², CHEN Peizhen¹, XIAO Nengwu², KONG Hao¹, ZHANG Gengtao¹, ZHANG Dandan¹, ZHENG Xiangqun^{1*}

(1. Agro-Environmental Protection Institute, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Tianjin 300191, China; 2. Shiyan Academy of Agricultural Sciences, Shiyan 442000, China)

Abstract: The effect of implementing thirteen green and efficient agro-technologies in the Danjiangkou water conservation area were evaluated using the three dimensional indices of economic benefit, technology extensibility, and environmental benefit via the analytic hierarchy process to provide technical support for the application of these technologies. We collected tested and demonstrated data from technology R&D experts to use as the basis for local experts to fill in the quantitative and qualitative index values in the questionnaire and estimate the values of quantitative indices for the demonstrated agro-technologies. We obtained local expert judgements of the importance of and values for the agro-technical evaluation indices. Yaahp software was used to calculate the weight value (q_i) of each index in the criterion, index and sub-index layers according to the importance judgment. The importance judgment questionnaires were only accepted one if the questionnaires' data were the same and were eliminated if the data failed to pass the consistency test. Then, the mean value Q_i of each index weight of the effective questionnaires was calculated. The estimated values of the technologies were calculated, based on

收稿日期: 2021-08-28 录用日期: 2022-01-14

作者简介: 黄治平(1972—),男,江西万载人,副研究员,从事农村污水处理、农业环境保护、农业资源利用以及技术评价等研究。

E-mail: bjhuangzp@126.com

*通信作者: 郑向群 E-mail: zhengxiangqun@126.com

基金项目: 中国农业科学院科技创新工程协同创新任务(CAAS-XTCX2016015)

Project supported: Funds for Science and Technology Innovation Project of the Chinese Academy of Agricultural Sciences(CAAS-XTCX2016015)

ecological compensation calculation methods, for seven quantified indicators including construction cost, operation cost, extension cost, environmental costs, technology benefit, resource savings, and supply function. The evaluation score for each indicator was then calculated based on the range of mean values for each technical indicator on the questionnaires. The evaluation scores of qualitative indices such as innovation and advanced nature, stability, maturity, research foundation, intellectual property, potential risk, and support and adjustment function were calculated based on the range of mean values for each technical indicator from the questionnaires. Finally, the total evaluation score for each technology was calculated using the evaluation score and weight of each index. The evaluation system for the three dimensional indices of economic benefit, technology extensibility, and environmental benefit was in line with the system of evaluating green and efficient agro-technology, and could thus be used to evaluate the effect of implementing the latter in the Danjiangkou water conservation area based on the comprehensive score. From the comprehensive evaluation scores, the 13 agro-technologies demonstrated in the Danjiangkou water conservation area achieved good results, and of them three technologies had scores of eight or more points, eight had scores from seven or more to less eight points, and two had scores from six or more to less seven points. The comprehensive evaluation score of three technologies—breeding waste consumed safely and efficiently on farmland, feed formulated with low nitrogen and phosphorus emissions, and environmentally friendly and konjac disease prevention and control scored more than eight points and had an excellent comprehensive evaluation. Generally, the qualified rate of the comprehensive score was 100%, the good rate was greater than 61.54%, and the excellent rate was greater than 23.08%. The 13 demonstrated agro-technologies were green and efficient, meaning they are suitable for the Danjiangkou water conservation area and similar regions.

Keywords: green and efficient agro-technology; analytic hierarchy process; assessment; Danjiangkou; water conservation area

丹江口水源涵养区是南水北调中线工程核心水源区、国家级生态示范区、鄂西北国家级重点生态功能保护区、国家集中连片特殊困难地区。为确保南水北调中线工程长期稳定供水,丹江口区域农村经济社会发展和农民增收受到了制约。中国农业科学院汇集10个研究所、14个创新团队、138名科研人员成立了“丹江口水源涵养区绿色高效农业技术集成与示范”创新团队,该团队以绿色高效、种养耦合、多功能农业和面源污染物控制为重点,按照单一技术模式化、复合技术集成化、体系技术系统化的思路,构建水源涵养区绿色高效农业技术体系,并在核心示范区开展技术示范。项目总指挥、中国农业科学院副院长王汉中院士指出,丹江口水源涵养区实施示范的技术必须为绿色高效农业技术,须紧扣水源区生态优先、绿色发展的功能定位,着力推进农田生态系统建设,切实增强水源涵养能力,通过水源涵养区绿色高效产业的发展带动区域农民脱贫致富,协调推进水源区经济社会发展与水源保护,使得农户应用绿色高效农业技术的收入水平不低于其他常规农业技术的收入水平,从而激励丹江口水源涵养区上游农户维护丹江口水源区水环境安全。目前“绿色高效农业技术”的定义还没有公认的标准,但从王汉中院士提出的要求可以推断,绿色高效农业技术应具有绿色、高效、生态三个特征内涵,其中“绿色”主要体现在技术实施后环境成本和额外成本降低,“高效”主要体现在技术实施后农产品供给功能增加,“生态”主要体现在技术实施后对

环境的生态功能、支持功能和文化功能改善。

项目集成了水源涵养区生物多样性利用与农业种植结构调整、主要农产品全产业链绿色高效生产、种养循环新模式、生态型高效设施农业、农村生活污染物控制等环节的关键技术,在湖北省十堰市和陕西省安康市分别示范了集约化农田生物多样性利用与生态强化、低产田改土培肥、秋葵种植、饲用苧麻种植、桑-草-鸡种养、魔芋病害防控、魔芋软腐病防治、茶园生草增产提质、养殖废弃物农田安全高效消纳、低氮磷排放环保饲料配制、设施蔬菜水肥药一体化、设施蔬菜绿色防控、土壤消毒防治根结线虫等13项农业技术,如何科学地评价13项示范农业技术的实施效果及其是否绿色高效是该项目的一个重要课题^[1-2]。

在绿色农业生产评价方面,有学者基于国家农业统计数据从绿色农业生产的持续供应能力、资源开发潜力、产品生产环境、生态系统稳定性和农民生活水平5个维度对其进行了单层级评价^[3]。由于层次分析法可以定性与定量相结合,能系统化和层次化地对复杂问题进行简洁地量化分析,以及解决难以确定的多准则、多目标或结构特征不明显的特性问题,CHEN等^[4]和WANG等^[5]应用层次分析法对绿色农业技术发展进行了研究,其他学者也将其应用于农业技术指标体系评价^[6-9]。综合分析我国现有的农业技术评价体系发现:第一,现有评价指标体系主要反映农业产业综合发展的国家政策;第二,农业技术评价指标体系

缺乏在绿色、生态和高效三个层面的综合评价;第三,绿色高效农业评价体系的指标缺乏定性和定量估算方法。为了将不同作物或不同领域的农业技术在一个指标体系下进行评价,统一将13项农业技术的经济效益和环境效益参照农业面源生态补偿的方法进行量化估算^[10],在评价方法上将层次分析法和农业面源生态补偿测算方法相结合,对13项示范技术是否符合“绿色高效”特征进行评价,其中绿色高效农业技术的绿色、生态和高效属性的技术指标分别归类于环境效益和经济效益2个维度。由于技术还应具备应用推广属性,因此增加技术可推广性维度,该属性主要为定性指标,采用调研数据估算^[12,11]。本研究结果可为绿色高效农业技术在丹江口水源涵养区的

示范推广提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 技术简介

项目在丹江口水源涵养区示范的13项技术简介见表1。

1.2 指标体系构建

由于13项绿色高效农业技术均为农业技术,均涉及技术成本、技术收益、技术推广和环境效益等共性问题,本研究尝试应用层次分析法从经济效益、技术可推广性和环境效益3个维度建立包含准则层、子准则层和指标层的三级评价指标体系对其进行评价,其中指标层有15个基础指标^[2],见图1。

表1 技术简介
Table 1 Technology introduction

技术名称 Name of technology	技术简介 Technology introduction	应用效果 Application effect
生物多样性利用与生态强化技术	通过增加农田系统植被多样性,提高动物多样性,增强农田生态系统的功能性和稳定性	单产略有降低,生产成本增加,农药用量减少,农产品品质提高
低产田改土培肥	通过增加土壤疏松度,提高土壤碱度,增加土壤有机质、氮磷含量,丰富土壤微生物多样性,实现土壤改良	技术应用后成本增加,作物单产提高
秋葵种植	引种特色优异的黄秋葵品种进行推广种植,丰富作物种类,助力蔬菜种植业发展,促进农民增收	成本降低,单产提高
饲用苕麻种植	苕麻作为一种优良的南方高蛋白饲料,具有优异的耐瘠薄、固土保水的生态功能,用于发展草食牲畜为主的节粮型种草养畜,助力农民脱贫致富	成本降低,单产提高
桑-草-鸡种养技术	通过桑园适度养殖肉鸡,鸡采食虫、草或踩踏草以达到桑园生态平衡,鸡的粪便回田提升桑园土壤肥力,促进桑树生长,提高经济效益和生态效益	建设成本和劳动力成本增加,鸡的产值增加,农药使用量降低
魔芋病害防控	魔芋田块搭配不同作物间作和覆盖作物以增加土壤微生物多样性,根际土壤中的细菌和放线菌对病原菌体有拮抗或杀灭作用,丰富均匀的土壤微生物群落可抑制病原菌	人工成本增加,产量增加50%
魔芋软腐病防治	播种前通过晒种、种芋消毒降低带菌率;通过起垅栽培减少土壤中积水,采用玉米秸秆进行遮荫处理	生产成本降低,农药使用量降低
茶园生草增产提质	茶园生草(野草+野花)控制杂草危害或覆盖裸露地面,减少水土流失;涵养有益动物控制茶园害虫,减少化学杀虫剂的用量;提高土壤有机质含量,促进增产	生产成本增加,产品品质提升,农药使用量降低
养殖废弃物农田安全高效消纳	猪场粪污经固液分离后,液体部分厌氧处理后转化为猪场液肥,由管道进入肥水贮存池贮存,在设施蔬菜生长需肥季节,经配水稀释后由管道输送至设施农田进行再利用,避免外排造成环境污染	养殖废弃物利用,作物产量增加
低氮磷排放环保饲料配制	一方面按照精准营养原则,在满足动物必需氨基酸营养需要的基础上降低饲料粗蛋白水平,在减少过量氮元素摄入基础上提高饲料蛋白质利用效率,降低粪尿中氮排放量;另一方面,植物性饲料原料中磷大部分以难降解植酸形式存在,通过在饲料中添加饲用植酸酶降解植酸释放磷,提高饲料磷利用效率,降低饲料总磷含量,从而实现粪中过量磷的减排	减少氮磷排放
设施蔬菜水肥药一体化	根据作物的水肥需求浇水、施肥。对病害的防控策略注重健康栽培,特别是维管束的系统性病害,提前用药预防,提高植物本身免疫力	未增加生产成本,作物产量增加,农药使用量降低
设施蔬菜绿色防控	设施蔬菜生产中小型害虫种类多,主要包括粉虱类、蓟马类、蚜虫和斑潜蝇等,且部分害虫传毒为害。在设施蔬菜定植前,使用内吸性杀虫剂(噻虫嗪、吡虫啉、溴氰虫酰胺等)进行穴盘灌根处理,所施用药剂可通过内吸作用将药剂输送到作物的各个部分,从而对害虫起到预防控制效果。该技术与防虫网、黄板、天敌昆虫等措施协同应用	作物产量增加,农药使用量降低
土壤消毒防治根结线虫	播种或移栽前,利用棉隆杀菌剂对土壤进行消毒处理	生产成本降低,作物产量提高,农药使用量降低

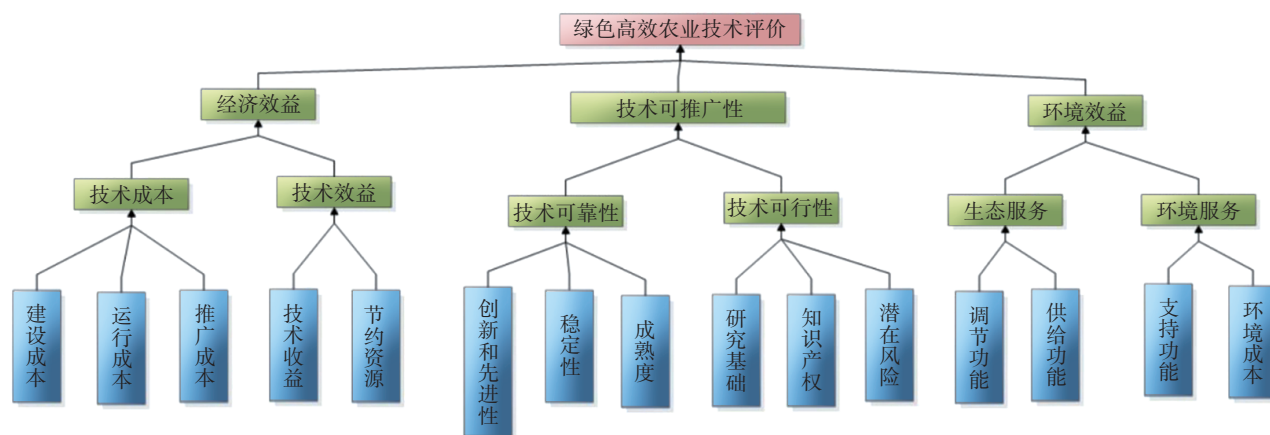


图1 绿色高效农业技术评价指标体系(通过Yaahp软件绘制)

Figure 1 Evaluation index system of green and efficient agro-technology (drawing by Yaahp software)

指标体系包括4层结构:其中A层为目标层,为绿色高效农业技术评价;B层为准则层,包括经济效益、技术可推广性和环境效益3类;C层为子准则层,是与准则层对应的子类,包括与经济效益对应的技术成本和技术效益,与技术可推广性对应的技术可靠性和技术可行性,与环境效益对应的生态服务和环境服务;D层为指标层,技术成本子类包括建设、运行和推广成本3项指标,技术效益子类包括技术收益和节约资源2项指标,技术可靠性子类包括创新和先进性、稳定性以及成熟度3项指标,技术可行性子类包括研究基础、知识产权和潜在风险3项指标,生态服务子类包括调节功能和供给功能2项指标,环境服务子类包括支持功能和环境成本2项指标。

1.3 数据来源

1.3.1 试验和技术示范数据

试验和技术示范数据由创新团队各技术研发专家提供,包括技术原理、技术参数、技术关键点、知识产权以及技术应用过程中相关的技术试验数据等信息,这些信息主要提供给丹江口水源涵养区地方专家,用来填报调查问卷中对技术的量化指标和定性指标估值的依据,以及技术示范量化指标测算值估算的依据。

1.3.2 专家调查问卷数据

本研究发放了丹江口水源涵养区绿色高效农业技术评估指标体系重要性判断表(调查问卷1)和13项技术的丹江口水源涵养区绿色高效农业技术评估指标取值范围表(调查问卷2)2个专家调查问卷。调查问卷发放对象主要为丹江口水源涵养区地方技术

专家和部分技术应用用户,2个调查问卷各发放200份,均回收165份,问卷专家主要为十堰市农业科研院所农业技术人员、十堰市各区(县)农业技术推广人员及部分技术应用用户,具有较典型的代表性,专家分布见图2。

1.4 计算方法

本研究将层次分析法与农业面源生态补偿测算方法相结合,计算分为3步:①应用层次分析法确定指标权重值;②根据农业面源生态补偿方法确定量化指标评价分值,定性指标分值由调研数据确定;③根据各指标权重及评价分值计算技术评价总分值。计算过程见图3,详细计算方法如下。

1.4.1 指标权重值确定

利用Yaahp软件对每份调查问卷1的准则层、子

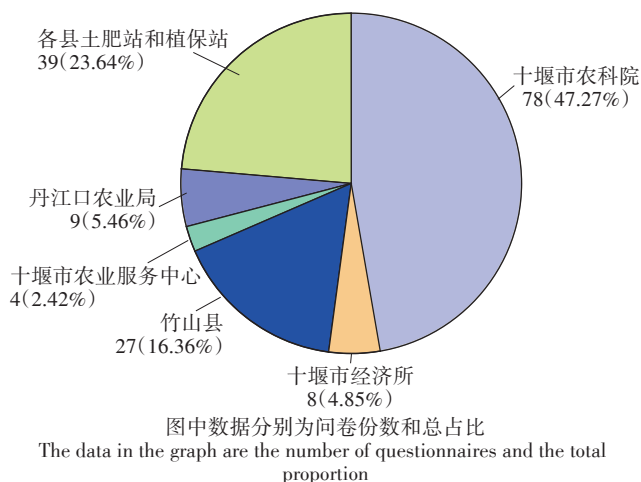


图2 问卷专家分布

Figure 2 The distribution of survey expert

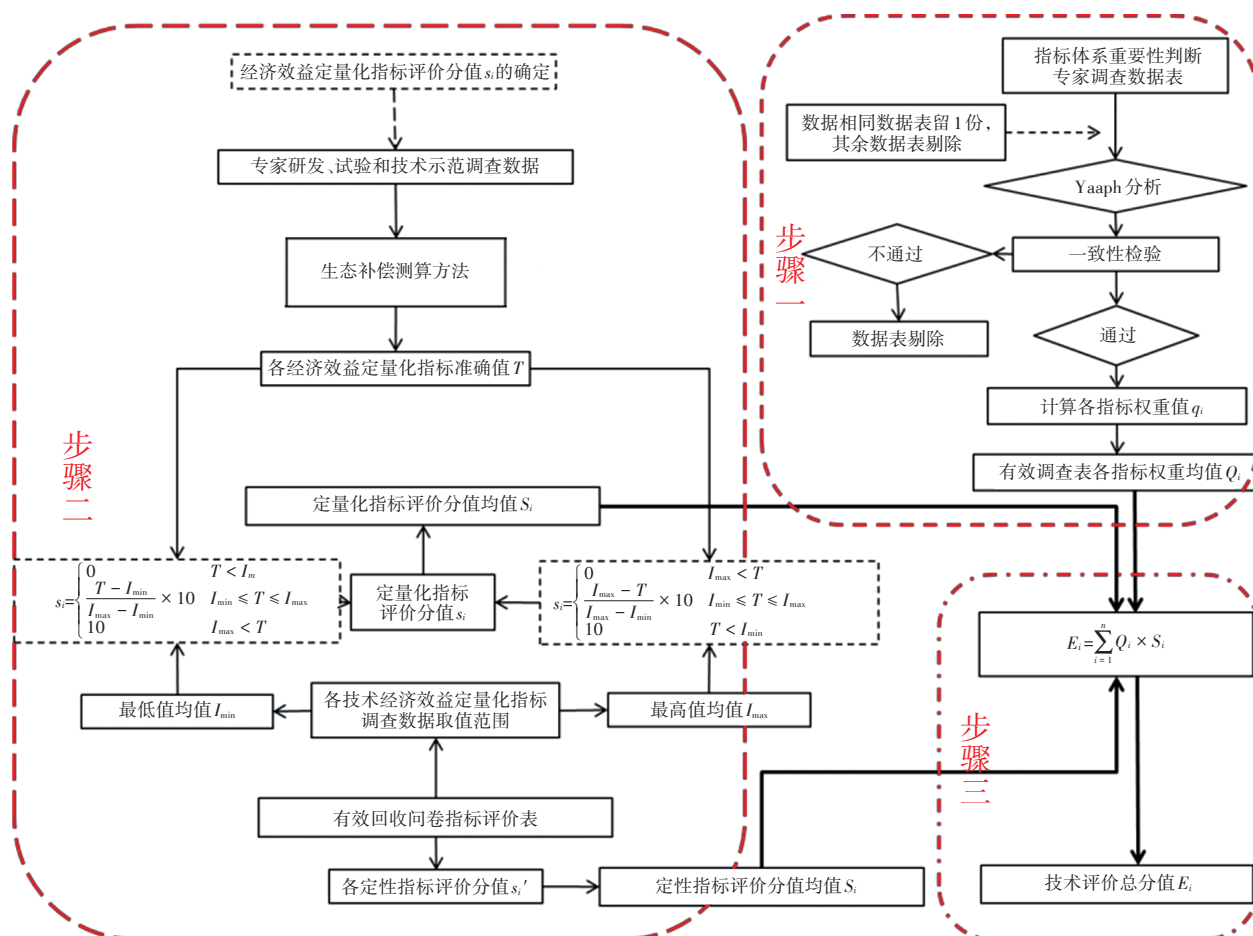


图3 计算过程流程图

Figure 3 The calculation process

准则层和指标层的各指标进行权重值 q_i 的计算,剔除调查数据相同和未能通过一致性检验的专家调查表,取得96份有效调查问卷1,然后对96份有效调查问卷1的各指标权重分别取均值 Q_i 。

1.4.2 各指标评价分值确定

(1)各指标分值以10分制计。本评价研究应用了CHEN等^[4]和WANG等^[5]对量化指标的无量纲化处理方法,但实际调查过程中,由于地方问卷专家和技术应用用户对各技术的各指标期望值有较大差异,导致7个量化指标的调查数据低值和高值的离散程度很高,而根据技术研发专家试验结果和农业面源生态补偿测算方法测算出的技术示范值可能偏离调查数据低值均值和高值均值的区间。为尽可能消除调查的个体差异,降低数据离散效应对最终评价结果产生的影响,减少综合评价的结果偏差,因此在较大样本数的条件下,对于某一指标技术示范测算值高于调查数据高值均值或低于低值均值时,对该指标分值取

极值0分或10分,当正向指标的测算值高于专家调研数据高值均值时,正向指标分值取极值10分,低于专家调研数据低值均值时,正向指标分值取极值0分,而负向指标则反之。

(2)为了能更客观确定量化指标的评分,对量化指标值测算作出以下规定:

①对回收的165份调查问卷2中的建设成本、运行成本、推广成本、技术收益、节约资源、供给功能和环境成本7个量化指标的调查最高值和最低值分别取均值 $I_{\max}$ 和 $I_{\min}$ 。

②根据1.3.1的试验和技术示范数据,依照农业面源生态补偿测算相关方法^[11]估算7个量化指标技术示范测算值 T 。

③7个量化指标评价分值 s_i 由公式(1)、(2)确定。其中:技术收益、节约资源、供给功能为正向指标属性,根据公式(1)计算;建设成本、运行成本、推广成本、环境成本为负向指标属性,根据公式(2)计算。

$$s_i = \begin{cases} 0 & T < I_{\min} \\ \frac{T - I_{\min}}{I_{\max} - I_{\min}} \times 10 & I_{\min} \leq T \leq I_{\max} \\ 10 & I_{\max} < T \end{cases} \quad (1)$$

$$s_i = \begin{cases} 0 & I_{\max} < T \\ \frac{I_{\max} - T}{I_{\max} - I_{\min}} \times 10 & I_{\min} \leq T \leq I_{\max} \\ 10 & T < I_{\min} \end{cases} \quad (2)$$

式中: s_i 为技术某一定量化指标评价分值; T 为根据生态补偿测算相关方法对某一定量化指标测算的技术示范测算值; $I_{\min}$ 为某一定量化指标调查结果最低值均值; $I_{\max}$ 为某一定量化指标调查结果最高值均值。

④对165份回收问卷的7个定量化指标的 s_i 取均值 S_i 。

(3)其他定性指标评分值根据165份回收问卷的专家赋值取均值 S_i 。

1.4.3 技术评价总分值确定

技术评价总分值 E_i 同样为10分制,根据公式(3)确定。

$$E_i = \sum_{i=1}^n Q_i \times S_i \quad (3)$$

式中: E_i 为各技术评价总分值; Q_i 为各技术子准则层

某一指标权重均值; S_i 为各技术子准则层某一指标评价分值的均值。

2 结果与分析

2.1 各指标权重均值

对96份有效调查问卷1的各指标权重值取均值 Q_i ,结果见图4。由图4可知,B层权重值最大的为环境效益,其次为经济效益,最后为技术可推广性;C层权重值表现为环境服务>生态服务>技术效益>技术成本>技术可靠性>技术可行性;D层的各指标要素权重排前六位的是供给功能、环境成本、支持功能、节约资源、建设成本和技术收益,前六位在D层总权重为0.666,表明所调研的地方专家对各技术更多关注的是在环境效益基础上能取得更大的经济收益,这与绿色高效农业技术的“绿色、高效、生态”的特征在本质上是一致的,也表明本技术评价体系内容设置符合绿色高效农业技术的评价属性和特征。

2.2 各绿色高效农业技术基础指标评分

根据调查问卷数据及1.4.2计算方法,分别计算出13项绿色高效农业技术的定量化指标调研均值及技术示范测算值,见表2;再分别计算出各指标评价分

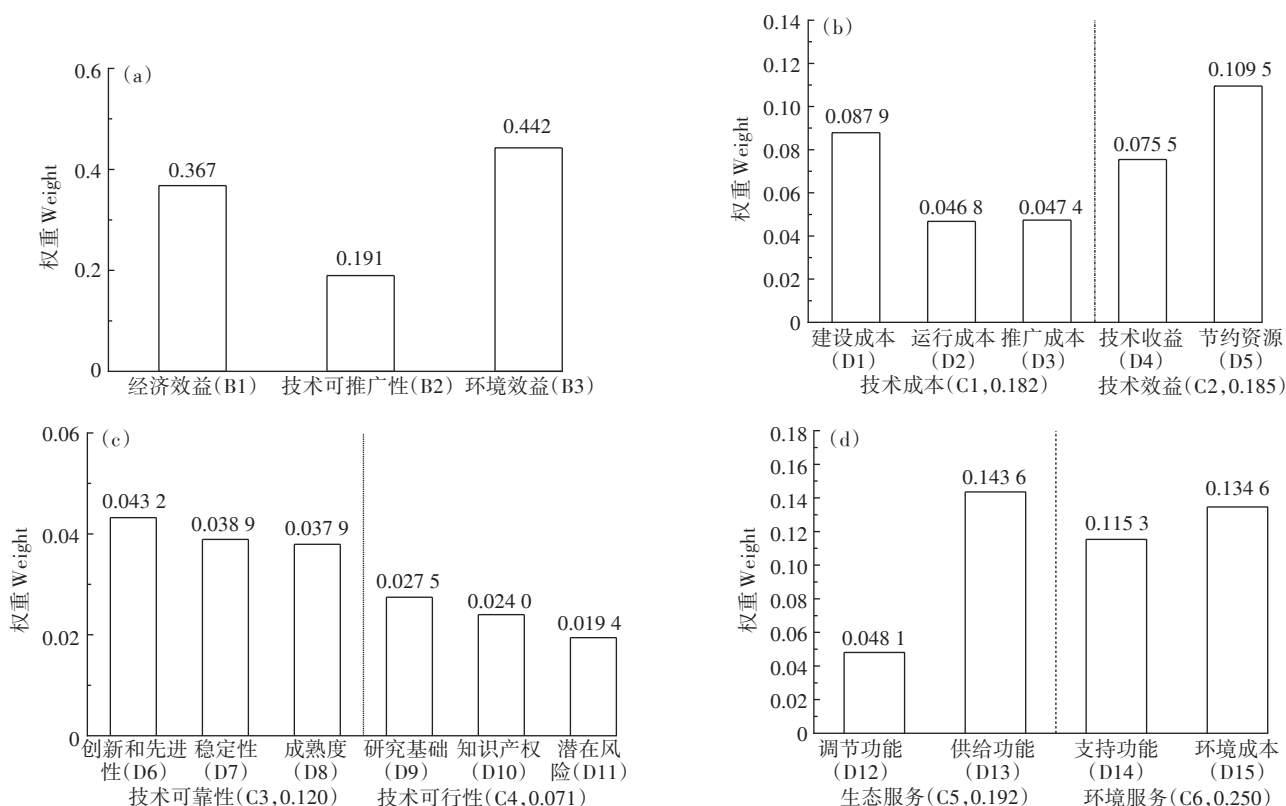


图4 指标权重值

Figure 4 The weight of evaluation indices

表2 丹江口水源涵养区绿色高效农业技术定量指标调查问卷均值及技术示范测算值(元·hm⁻²)
Table 2 Mean of survey and estimated value of technology demonstrated for quantitative indices of green and efficient agro-technologies
in Danjiangkou water conservation area(yuan·hm⁻²)

技术名称 Name of technology	建设成本 Construction cost			运行成本 Operation cost			推广成本 Extension cost			技术收益 Technology benefit			节约资源 Resource saving			供给功能 Supply function			环境成本 Environmental cost		
	低均值 Lowest average	高均值 Highest average	测算值 Estimated value	低均值 Lowest average	高均值 Highest average	测算值 Estimated value	低均值 Lowest average	高均值 Highest average	测算值 Estimated value	低均值 Lowest average	高均值 Highest average	测算值 Estimated value	低均值 Lowest average	高均值 Highest average	测算值 Estimated value	低均值 Lowest average	高均值 Highest average	测算值 Estimated value	低均值 Lowest average	高均值 Highest average	测算值 Estimated value
生物多样性利用与生态强化技术	4.58×10 ³	3.44×10 ⁴	2.40×10 ³	2.49×10 ³	1.10×10 ⁴	1.50×10 ³	1.19×10 ³	6.91×10 ³	1.30×10 ³	6.30×10 ³	2.68×10 ³	2.10×10 ³	1.46×10 ³	4.55×10 ³	1.65×10 ³	2.36×10 ³	5.74×10 ³	1.94×10 ⁴	1.67×10 ³	5.36×10 ³	55.22
低产田改土培肥	1.11×10 ⁴	1.57×10 ⁵	4.50×10 ³	2.51×10 ³	1.10×10 ⁴	1.50×10 ³	9.20×10 ³	4.55×10 ³	2.00×10 ³	1.38×10 ⁴	3.79×10 ⁴	9.33×10 ³	1.55×10 ³	7.01×10 ³	0	1.13×10 ³	5.46×10 ³	1.53×10 ⁴	1.93×10 ³	6.88×10 ³	3.16×10 ³
秋葵种植	6.30×10 ³	1.74×10 ⁴	-3.00×10 ³	3.42×10 ³	1.14×10 ⁴	-3.00×10 ³	1.01×10 ³	3.75×10 ³	-2.00×10 ³	1.33×10 ⁴	3.67×10 ⁴	5.25×10 ³	8.26×10 ³	2.68×10 ³	0	6.54×10 ³	2.82×10 ³	5.26×10 ⁴	1.65×10 ³	4.98×10 ³	0
间用苎麻种植	2.71×10 ³	1.22×10 ⁴	0	3.16×10 ³	9.31×10 ³	-6.00×10 ³	9.69×10 ³	6.66×10 ³	-2.00×10 ³	1.21×10 ⁴	2.62×10 ⁴	1.83×10 ⁴	8.16×10 ³	2.84×10 ³	0	1.77×10 ³	4.28×10 ³	1.88×10 ⁴	1.47×10 ³	3.94×10 ³	0
桑-草-鸡种养技术	7.38×10 ³	2.04×10 ⁴	7.50×10 ³	4.67×10 ³	1.42×10 ⁴	4.50×10 ⁴	1.12×10 ³	4.96×10 ³	1.75×10 ⁴	2.45×10 ⁴	7.01×10 ⁴	7.65×10 ⁴	1.72×10 ³	6.99×10 ³	1.65×10 ³	1.26×10 ³	9.08×10 ³	7.87×10 ⁴	1.75×10 ³	5.80×10 ³	-30.6
魔芋病害防控	6.04×10 ³	2.27×10 ⁴	3.00×10 ³	1.01×10 ⁴	2.63×10 ⁴	1.50×10 ⁴	1.80×10 ³	7.14×10 ³	6.00×10 ³	2.39×10 ⁴	5.53×10 ⁴	8.10×10 ³	3.79×10 ³	8.30×10 ³	1.65×10 ³	1.57×10 ³	6.93×10 ³	6.50×10 ⁴	9.73×10 ³	4.40×10 ³	-1.94
魔芋软腐病防治	7.69×10 ³	3.61×10 ⁴	0	4.94×10 ³	1.59×10 ⁴	5.40×10 ³	1.20×10 ³	4.74×10 ³	1.80×10 ³	2.31×10 ⁴	1.24×10 ³	3.72×10 ³	1.93×10 ³	5.16×10 ³	2.25×10 ³	1.18×10 ³	5.57×10 ³	3.65×10 ⁴	5.58×10 ³	3.01×10 ³	-9.18×10 ³
茶园生草增产提质	3.25×10 ³	1.36×10 ⁴	1.05×10 ³	4.30×10 ³	1.58×10 ⁴	4.50×10 ³	2.05×10 ³	5.85×10 ³	5.00×10 ³	9.70×10 ³	3.63×10 ³	8.55×10 ³	1.22×10 ³	4.14×10 ³	8.25×10 ³	2.83×10 ³	1.10×10 ⁴	7.73×10 ⁴	9.90×10 ³	5.81×10 ³	-1.37
菜粕废弃物农田安全高效消纳	4.71×10 ³	2.32×10 ⁴	2.25×10 ³	2.64×10 ³	1.18×10 ⁴	-6.00×10 ³	2.20×10 ³	6.16×10 ³	-1.25×10 ³	7.73×10 ³	2.77×10 ³	1.42×10 ³	8.08×10 ³	4.83×10 ³	9.75×10 ³	3.06×10 ³	8.29×10 ³	3.60×10 ⁴	1.72×10 ³	6.39×10 ³	1.13×10 ³
	2.25×10 ³			-9.60×10 ³					-2.45×10 ³			7.38×10 ³			7.80×10 ³			7.81×10 ⁴		1.22×10 ³	
	2.25×10 ³			-9.60×10 ³					-2.45×10 ³			4.83×10 ³			6.30×10 ³			5.25×10 ⁴		70.44	
低氮磷减排环保饲料配制	4.75×10 ³	3.13×10 ⁴	0	2.90×10 ³	1.17×10 ⁴	0	1.78×10 ³	5.92×10 ³	0	1.00×10 ⁴	3.99×10 ⁴	—	2.73×10 ³	8.76×10 ³	—	1.21×10 ³	6.77×10 ³	—	5.47×10 ³	5.31×10 ³	-2.15×10 ³
设施蔬菜水肥药一体化(十堰)	1.32×10 ⁴	4.29×10 ⁴	0	5.77×10 ³	1.59×10 ⁴	6.75×10 ³	2.30×10 ³	8.55×10 ³	2.25×10 ³	2.92×10 ⁴	8.56×10 ⁴	2.50×10 ³	1.73×10 ³	7.19×10 ³	2.25×10 ³	1.76×10 ³	7.53×10 ³	2.39×10 ⁵	5.82×10 ³	4.79×10 ³	-1.94
	0		0	4.50×10 ³					1.50×10 ³			2.96×10 ³			2.25×10 ³			2.89×10 ⁴		-1.45	
设施蔬菜水肥药一体化(安康)	1.32×10 ⁴	4.29×10 ⁴	0	5.77×10 ³	1.59×10 ⁴	1.07×10 ⁴	2.30×10 ³	8.55×10 ³	3.55×10 ³	2.92×10 ⁴	8.56×10 ⁴	6.68×10 ³	1.73×10 ³	7.19×10 ³	2.85×10 ³	1.76×10 ³	7.53×10 ³	6.63×10 ⁴	5.82×10 ³	4.79×10 ³	-1.45
	0		0	1.07×10 ⁴					3.55×10 ³			6.79×10 ³			2.85×10 ³			6.74×10 ⁴		-1.45	
	0		0	1.07×10 ⁴					3.55×10 ³			5.34×10 ³			2.85×10 ³			5.29×10 ⁴		-1.45	
	0		0	1.07×10 ⁴					3.55×10 ³			1.63×10 ³			2.85×10 ³			9.89×10 ³		-1.45	
设施蔬菜绿色防控	1.61×10 ⁴	4.52×10 ⁴	0	6.35×10 ³	1.71×10 ⁴	-6.75×10 ³	8.92×10 ³	5.26×10 ³	-2.25×10 ³	2.10×10 ⁴	8.25×10 ⁴	1.77×10 ³	1.47×10 ³	6.69×10 ³	7.50×10 ³	2.62×10 ³	9.41×10 ³	1.81×10 ⁵	1.11×10 ³	6.99×10 ³	-0.77
土壤消毒防治根结线虫	2.82×10 ³	1.45×10 ⁴	0	3.60×10 ³	1.32×10 ⁴	2.25×10 ³	8.84×10 ³	4.37×10 ³	7.50×10 ³	1.81×10 ⁴	7.94×10 ⁴	3.73×10 ³	1.07×10 ³	4.65×10 ³	-4.88×10 ³	1.70×10 ³	6.22×10 ³	5.75×10 ⁴	8.59×10 ³	4.69×10 ³	2.01×10 ³
	0		0	2.25×10 ³					7.50×10 ³			6.56×10 ³			-4.88×10 ³			4.40×10 ⁴		1.67×10 ³	
	0		0	2.25×10 ³					7.50×10 ³			2.02×10 ³			-3.75×10 ³			8.58×10 ⁴		2.86×10 ³	
	0		0	2.25×10 ³					7.50×10 ³			6.71×10 ³			-3.75×10 ³			5.44×10 ⁴		2.52×10 ³	

值,见表3。指标测算中,供给功能反映的是农业生产要素,采用市场法测算农产品供给价值,采用生命周期法评估农业技术设施的环境成本^[11],由于缺乏低氮磷排放环保饲料的相关田间试验数据,故无法测算技术收益、节约资源和供给功能的评分,经征询相关专家意见,该技术的3个指标评分均定义为8分。

由表3可知,在指标权重排前两位的供给功能和环境成本中,13项技术的环境成本均为10分,表明这些技术均具有“绿色”属性的特征,13项技术中除了低氮磷排放环保饲料技术外,其他12项技术的供给

功能评分均为10分,表明实施的这些技术符合“高效”属性的特征。

本研究的经济效益和环境效益的量化指标主要根据农业面源生态补偿的测算方法进行估算^[10],CAMPOS等^[12]研究认为,为了避免过度估算生态系统服务带来的环境效益,农田尺度的生态效益应基于社会价值来估算。但在实际计算过程中,还存在以下限制因素,会对评价结果产生一定的偏差:

(1)技术实施后,示范区域生物多样性增加,物种更加丰富,生态环境得到极大改善,生态文明建设也

表3 丹江口水源涵养区绿色高效农业技术指标评分

Table 3 Score of green and efficient agro-technologies in Danjiangkou water conservation area

技术名称 Name of technology	应用作物 Crop	建设成本 Construction cost (D1)	运行成本 Operation cost (D2)	推广成本 Extension cost (D3)	技术收益 Technology benefit (D4)	节约资源 Resource saving (D5)	创新和 先进性 Innovation and advanced (D6)	稳定性 Stability (D7)	成熟度 Maturity (D8)	研究基础 Research base (D9)	知识产权 Intellectual property (D10)	潜在风险 Potential risk (D11)	调节功能 Adjust function (D12)	供给功能 Supply function (D13)	支持功能 Support function (D14)	环境成本 Eviromental cost (D15)
生物多样性利用与生态强化技术		10.00	10.00	9.81	7.15	0.61	5.95	6.08	4.79	6.95	4.83	4.57	8.68	10.00	8.03	10.00
低产田改土培肥		10.00	10.00	7.03	0	0	6.01	5.88	4.79	7.06	6.01	7.52	8.92	10.00	5.34	10.00
秋葵种植		10.00	10.00	10.00	10.00	0	5.17	5.18	8.09	7.44	6.58	7.00	8.46	10.00	7.53	10.00
饲用苕麻种植		10.00	10.00	10.00	4.41	0	6.71	6.63	7.24	7.23	6.46	7.31	8.88	10.00	7.26	10.00
桑-草-鸡种养技术		9.91	0	0	10.00	0	7.02	6.77	7.10	7.12	6.88	7.47	8.69	10.00	7.88	10.00
魔芋病害防控		10.00	6.99	2.14	10.00	10.00	7.20	6.74	5.09	5.08	4.31	4.72	7.80	10.00	6.12	10.00
魔芋软腐病防治		10.00	9.58	8.31	1.40	0.98	5.07	5.92	4.94	4.85	4.77	4.44	8.12	10.00	7.68	10.00
茶园生草增产提质		2.97	9.83	2.24	10.00	10.00	4.35	4.49	7.81	5.56	5.24	5.55	8.66	10.00	7.56	10.00
养殖废弃物农田安全高效消纳	白菜	10.00	10.00	10.00	3.23	10.00	7.02	7.01	6.38	7.03	7.21	6.69	9.48	10.00	5.02	10.00
	秋葵	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	7.02	7.01	6.38	7.03	7.21	6.69	9.48	10.00	5.02	10.00
	芦笋	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	7.02	7.01	6.38	7.03	7.21	6.69	9.48	10.00	5.02	10.00
低氮磷排放环保饲料配制		10.00	10.00	10.00	8.00	8.00	6.98	6.86	6.80	6.56	6.19	5.78	9.23	8.00	5.22	10.00
设施蔬菜水肥药一体化(十堰)	番茄	10.00	9.04	10.00	10.00	0.96	7.70	7.54	7.19	7.08	6.45	6.42	8.89	10.00	6.78	10.00
	辣椒	10.00	10.00	10.00	0.08	0.96	7.70	7.54	7.19	7.08	6.45	6.42	8.89	10.00	6.78	10.00
设施蔬菜水肥药一体化(安康)	黄瓜	10.00	5.20	8.00	6.66	2.06	7.70	7.54	7.19	7.08	6.45	6.42	8.89	10.00	6.78	10.00
	番茄	10.00	5.20	8.00	6.86	2.06	7.70	7.54	7.19	7.08	6.45	6.42	8.89	10.00	6.78	10.00
	茄子	10.00	5.20	8.00	4.30	2.06	7.70	7.54	7.19	7.08	6.45	6.42	8.89	10.00	6.78	10.00
	辣椒	10.00	5.20	8.00	0	2.06	7.70	7.54	7.19	7.08	6.45	6.42	8.89	10.00	6.78	10.00
设施蔬菜绿色防控	辣椒	10.00	10.00	10.00	10.00	0	7.33	7.38	6.86	7.15	7.03	6.18	8.95	10.00	7.21	10.00
土壤消毒防治根结线虫	黄瓜-莴苣	10.00	10.00	10.00	3.13	0	7.00	7.18	7.27	7.16	6.68	6.90	7.37	10.00	7.46	10.00
	黄瓜-白菜	10.00	10.00	10.00	7.76	0	7.00	7.18	7.27	7.16	6.68	6.90	7.37	10.00	7.46	10.00
	番茄-莴苣	10.00	10.00	10.00	0.34	0	7.00	7.18	7.27	7.16	6.68	6.90	7.37	10.00	7.46	10.00
	番茄-白菜	10.00	10.00	10.00	0	0	7.00	7.18	7.27	7.16	6.68	6.90	7.37	10.00	7.46	10.00
平均值		9.69	8.53	8.33	5.88	2.68	6.83	6.82	6.73	6.84	6.32	6.38	8.59	10.00	6.76	10.00
标准差		1.47	2.64	2.90	4.08	4.01	0.92	0.81	0.95	0.69	0.79	0.85	0.69	0	0.98	0

得到提升,但农耕景观文化未能得到有效变现,生态系统服务的文化功能未能计算在内。

(2)调节功能包括固碳释氧、水土保持和消纳废弃物3个基础指标,支持功能包括提高生物多样性、降低土地废弃物价值和泥沙淤积价值3项基础指标。由于13项技术的调节功能和支持功能并未完全包含所涉及的指标测算^[11],为了能将13项技术的评价总分进行横向比较,其中的调节功能和支持功能评分值参照问卷专家的定性指标估值。

(3)调节功能中固碳释氧测算以CO₂计,而环境成本测算中大气的影 响因子将CO₂作为温室气体计算在内,为了避免重复计算,统一将CO₂归入调节功能中,由于调节功能暂按定性指标进行评价,对评价结果有一定影响。

(4)有学者在测算环境效应时直接将农业源排放的COD、TN和TP作为污染物进行核算,而未深入分析氮磷在农业环境中的转化和COD的自然削减^[13],在实际环境效益测算中,部分氮磷可以作为作物的营养盐得到利用,并不能完全将氮磷等视为污染物。但在绿色高效农业技术的环境成本测算过程中,大部分指标测算缺乏较详细的数据,如作物鲜质量的含水率,农药及氮磷在大气、土壤和水体的流失参数,COD产生CH₄的当量值^[14],均只能查阅相关文献的数据进行估算,对评价指标估算结果有一定影响。

2.3 各绿色高效农业技术综合评分

根据公式(3)计算得出13项技术的综合评价得分 E_i ,见表4。由表4可知,所有技术综合评价总得分均高于6分,其中3项技术大于8分,8项技术大于7

表4 丹江口水源涵养区绿色高效农业技术综合评价得分

Table 4 Comprehensive evaluation score of green and efficient agro-technologies in Danjiangkou water conservation area

技术名称 Name of technology	应用作物 Crop	建设成本 Construction cost (D1)	运行成本 Operation cost (D2)	推广成本 Extension cost (D3)	技术收益 Technology benefit (D4)	节约资源 Resource saving (D5)	创新性和 先进性 Innovation and advanced(D6)	稳定性 Stability (D7)	成熟度 Maturity (D8)	研究基础 Research base (D9)	知识产权 Intellectual property (D10)	潜在风险性 Potential risk (D11)	调节功能 Adjust function (D12)	供给功能 Supply function (D13)	支持功能 Support function (D14)	环境成本 Eviromental cost (D15)	合计 Sum
生物多样性利用与生态强化技术		0.879	0.468	0.465	0.540	0.067	0.257	0.237	0.182	0.191	0.116	0.089	0.418	1.436	0.926	1.346	7.617
低产田改土培肥		0.879	0.468	0.333	0	0	0.260	0.229	0.182	0.194	0.144	0.146	0.429	1.436	0.616	1.346	6.662
秋葵种植		0.879	0.468	0.474	0.755	0	0.223	0.202	0.307	0.205	0.158	0.136	0.407	1.436	0.868	1.346	7.864
饲用苕麻种植		0.879	0.468	0.474	0.333	0	0.290	0.258	0.274	0.199	0.155	0.142	0.427	1.436	0.837	1.346	7.518
桑-草-鸡种养技术		0.871	0	0	0.755	0	0.303	0.263	0.269	0.196	0.165	0.145	0.418	1.436	0.909	1.346	7.076
魔芋病害防控		0.879	0.327	0.101	0.755	1.095	0.311	0.262	0.193	0.140	0.103	0.092	0.375	1.436	0.706	1.346	8.121
魔芋软腐病防治		0.879	0.448	0.394	0.106	0.107	0.219	0.230	0.187	0.133	0.114	0.086	0.391	1.436	0.886	1.346	6.962
茶园生草增产提质		0.261	0.460	0.106	0.755	1.095	0.188	0.175	0.296	0.153	0.126	0.108	0.417	1.436	0.872	1.346	7.794
养殖废弃物农田安全高效消纳	白菜	0.879	0.468	0.474	0.244	1.095	0.303	0.273	0.242	0.193	0.173	0.130	0.456	1.436	0.579	1.346	8.291
	秋葵	0.879	0.468	0.474	0.755	1.095	0.303	0.273	0.242	0.193	0.173	0.130	0.456	1.436	0.579	1.346	8.802
	芦笋	0.879	0.468	0.474	0.755	1.095	0.303	0.273	0.242	0.193	0.173	0.130	0.456	1.436	0.579	1.346	8.802
低氮磷排放环保饲料配制		0.879	0.468	0.474	0.604	0.876	0.302	0.267	0.258	0.180	0.149	0.112	0.444	1.149	0.602	1.346	8.110
设施蔬菜水肥药一体化(十堰)	番茄	0.879	0.423	0.474	0.755	0.105	0.333	0.293	0.273	0.195	0.155	0.125	0.428	1.436	0.782	1.346	8.002
	辣椒	0.879	0.468	0.474	0.006	0.105	0.333	0.293	0.273	0.195	0.155	0.125	0.428	1.436	0.782	1.346	7.298
设施蔬菜水肥药一体化(安康)	黄瓜	0.879	0.243	0.379	0.503	0.226	0.333	0.293	0.273	0.195	0.155	0.125	0.428	1.436	0.782	1.346	7.596
	番茄	0.879	0.243	0.379	0.518	0.226	0.333	0.293	0.273	0.195	0.155	0.125	0.428	1.436	0.782	1.346	7.611
	茄子	0.879	0.243	0.379	0.325	0.226	0.333	0.293	0.273	0.195	0.155	0.125	0.428	1.436	0.782	1.346	7.418
	辣椒	0.879	0.243	0.379	0	0.226	0.333	0.293	0.273	0.195	0.155	0.125	0.428	1.436	0.782	1.346	7.093
设施蔬菜绿色防控	辣椒	0.879	0.468	0.474	0.755	0	0.317	0.287	0.260	0.197	0.169	0.120	0.430	1.436	0.831	1.346	7.969
土壤消毒防治根结线虫	黄瓜-茼蒿	0.879	0.468	0.474	0.236	0	0.302	0.279	0.276	0.197	0.160	0.134	0.354	1.436	0.860	1.346	7.401
	黄瓜-白菜	0.879	0.468	0.474	0.586	0	0.302	0.279	0.276	0.197	0.160	0.134	0.354	1.436	0.860	1.346	7.751
	番茄-茼蒿	0.879	0.468	0.474	0.026	0	0.302	0.279	0.276	0.197	0.160	0.134	0.354	1.436	0.860	1.346	7.191
	番茄-白菜	0.879	0.468	0.474	0.000	0	0.302	0.279	0.276	0.197	0.160	0.134	0.354	1.436	0.860	1.346	7.165

分(设施蔬菜水肥药一体化技术在十堰市番茄示范时,综合得分大于8分,但其他作物示范大于7分低于8分,依单一技术得分归类就低原则,该技术归于大于7分类),2项技术大于6分。

崔悦等^[15]对荒漠化治理中退牧还草技术进行了综合评价,其评价结果 E_i 在0~1范围内分级,当 $E_i \leq 0.3$ 时,评价属于较低水平,技术满意度较低; $0.3 < E_i \leq 0.5$ 时,评价属于中等水平,技术满意度一般; $0.5 < E_i \leq 0.8$ 时,评价属于较高水平,技术满意度较高; $0.8 < E_i \leq 1$ 时,评价属于非常高水平,技术满意度非常高。王翠等^[16]构建了农业高新技术评价指标体系,其技术水平评价结果 E_i 在0~100范围内分级, $E_i \leq 60$ 时,不好; $60 < E_i \leq 75$ 时,一般; $75 < E_i \leq 90$ 时,较好; $90 < E_i \leq 100$ 时,很好。

本研究参照已有成果,综合自建评价指标体系和计算方法,将综合评价 E_i 在0~10范围内进行分级,当 $E_i < 6$ 时,属于较低水平,尽管技术环境效益高、实用性较强,但技术的创新性、研究基础较弱,运行成本、技术收益和节约资源一般,技术竞争力弱; $6 \leq E_i < 7$ 时,属于合格水平,技术环境效益高、实用性较强,创新性、研究基础、运行成本、技术收益和节约资源等一般,技术竞争力一般; $7 \leq E_i < 8$ 时,属于良好水平,技术环境效益高、实用性较强,创新性、研究基础、运行成本、技术收益和节约资源较好,技术竞争力较高; $8 \leq E_i \leq 10$ 时,属于优秀水平,技术环境效益和经济收益高,实用性强,创新性、研究基础、运行成本、技术收益和节约资源较好,技术竞争力高。

因此本研究以综合得分6分以上为合格,7分以上为良好,8分以上为优秀作为判断依据,绿色高效农业技术的综合得分合格率为100%,良好率为61.54%,优秀率为23.08%。由于综合评分计算由各指标的平均权重与测算的平均分值来确定,由表3可知,定性指标各技术专家评分差异不大,定量化指标中供给功能和环境成本都是10分,经济效益类的建设成本、运行成本、推广成本、技术收益和节约资源5个可量化指标差值大于1,其中技术收益和节约资源评分标准差值甚至达到4,经济效益总权重为0.367,表明13项技术的综合评分差异主要受经济效益影响。由此不难理解低产田改土培肥技术由于刚开展时投入产出比太低,相应得分最低,而养殖废弃物应用技术由于取得较好的技术效益,节约了资源,带来较好的经济效益,相应综合评分较高。从综合评价得分来看,丹江口水源涵养区示范的13项技术均取得

良好效果,适宜在该区域推广应用。

3 讨论

为确保“一江清水送北京”,亟需在丹江口水源涵养区构建可复制、可推广的可持续绿色高效生态循环农业技术体系,从而更好地为区域产业精准扶贫和农业绿色高效发展提供技术支撑,因此对丹江口水源涵养区实施的绿色高效农业技术进行评价非常必要。为了能更客观地体现技术实用性和农户满意度,本研究在环境效益和经济效益的基础上,增加了技术可推广性的6个指标,尽管评价方法中指标选取和权重赋值存在一定的可变性,是一种主观与客观因素结合的方法,但基本反映了评价方法的正确性和适用性。

关于农业技术指标评价体系构建的研究较多^[6-9,11,15-16],评价指标的选择一般根据各自研究目标进行取舍或增减。因此,本评价体系需在实践过程中不断进行完善,在下一步研究中还有大量工作要做:一是如何与其他农业技术指标体系进行代表性指标与辅助指标的衔接;二是考虑到专家与农户对经济效益和环境效益的关注点及实际感受存在较大的偏差,今后在指标完善过程中需增加农户采纳意愿等相关指标,尽量涵盖农业技术评价需要的基础性指标,为13项农业技术在丹江口水源涵养区的推广应用提供理论依据,同时为相似区域提供参考借鉴。

研究表明,小规模农户、专业大户、家庭农场、农民专业合作社和农业企业的技术推广途径契合指数分别为11.60%、20.42%、19.84%、19.13%、20.64%^[17],契合度水平均不高,由此可见农业技术与农户的需求意愿存在较大差异。丹江口库区农民组织化程度较低,农户异质性分化明显,十堰市有网络农户(订单农户)、农业合作社、家庭农场(内含专业大户)、小散农户等,截至2020年底,全市累计注册并备案的农业合作社达8 524家,家庭农场有1 269个,家庭农场主要有种植业家庭农场、养殖业家庭农场、种养结合型家庭农场和其他类型家庭农场4大类型,参与农民专业合作社农户数为10 971户,种植面积达0.83万 hm^2 。目前在丹江口水源涵养区实施的绿色高效农业技术主要为农业示范项目,这些技术如何被农(用)户有效接纳,同样是下一步研究的重要课题。在农户分化背景下,结合农户对农业技术需求的采纳意愿、基于农业技术供需契合度的推广途径、十堰市农户特征及绿色高效农业技术特征,可从技术需求导向的农业技术供求契合度角度比对出绿色高效农业技术的农技推广途径,

将技术知识(包括物化技术和非物化技术)从研发部门顺利地传递到农民手中,引导农民做出科学有效的决策并启发其准确把握生产目标与社会责任^[18]。本研究中,13项技术中有11项技术能为农户带来切实的利益,与农户的供需契合度相对密切,无论是采取公益性推广还是市场化推广,均易被农户接受;其余2项技术尽管不能为农户带来直接的利益,表观上与农户的需求脱节,但对于保障丹江口水源涵养敏感区水质安全至关重要,需要政府加强对农户的技术培训、现场推广,通过政府财政补贴支持开展该类技术的推广行为^[19-21]。

4 结论

(1)本研究利用层次分析法从经济效益、技术推广性和环境效益3个维度建立符合绿色高效农业技术的评价体系,技术实施效果的综合评分可用于评价丹江口水源涵养区推广的农业技术。

(2)从综合评价得分来看,丹江口水源涵养区示范的生物多样性利用与生态强化等13项技术取得了较好效果,尤其是养殖废弃物农田安全高效消纳、低氮磷排放环保饲料配制、魔芋病害防控3项技术综合评价为优秀。总体上,示范技术的综合得分合格率为100%,良好率为61.54%,优秀率为23.08%,13项示范技术适合在该区域及相似区域推广应用。

致谢:感谢项目各技术研发专家提供试验和示范数据;感谢十堰市地方专家和技术应用用户对问卷调查的支持。

参考文献:

- [1] 张艳军, 赵建宁, 王慧, 等. 丹江口水源涵养区绿色高效农业技术创新集成与示范——模式设计、技术集成与机制创新[J]. 农业资源与环境学报, 2020, 37(3): 301-307. ZHANG Y J, ZHAO J N, WANG H, et al. Innovative integration and demonstration of green and efficient agricultural technology in Danjiangkou water conservation area: Pattern design, technology integration, and mechanism innovation[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2020, 37(3): 301-307.
- [2] 丁健, 何源, 黄治平, 等. 丹江口水源涵养区绿色高效农业技术模式评价指标体系构建[J]. 农业科学, 2019, 9(1): 6-13. DING J, HE Y, HUANG Z P, et al. Construction of the evaluation index system of green and efficient agriculture in Danjiangkou water resource conservation area[J]. *Agricultural Sciences*, 2019, 9(1): 6-13.
- [3] LIU Y F, SUN D S, WANG H J, et al. An evaluation of China's agricultural green production: 1978—2017[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 243: 1-12.
- [4] CHEN Z, LI X J, XIA X L. Measurement and spatial convergence analysis of China's agricultural green development index[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2021, 28: 19694-19709.
- [5] WANG S R, CHAI Q Y, SUN X, et al. Construction and application of evaluation system for integrated development of agricultural industry in China[J]. *Environment, Development and Sustainability*, 2021, 23: 7469-7479.
- [6] 沈剑波, 王应宽. 中国农业信息化水平评价指标体系研究[J]. 农业工程学报, 2019, 35(24): 162-172. SHEN J B, WANG Y K. Investigation of evaluation index system for agricultural informatization level in China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2019, 35(24): 162-172.
- [7] 邸菲, 胡志全. 我国农业现代化评价指标体系的构建与应用[J]. 中国农业资源与区划, 2020, 41(6): 46-56. DI F, HU Z Q. Construction and application of China's agricultural modernization evaluation index system[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2020, 41(6): 46-56.
- [8] 刘涛, 杜思梦. 基于新发展理念农业高质量发展评价指标体系构建[J]. 中国农业资源与区划, 2021, 42(4): 1-9. LIU T, DU S M. The construction of high-quality development evaluation index system of agricultural based on new development concept[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2021, 42(4): 1-9.
- [9] 周瑶, 卢东宁, 马勇. 乡村振兴视阈下陕西农业绿色发展评价体系构建及应用[J]. 辽宁农业科学, 2020(6): 12-17. ZHOU Y, LU D N, MA Y. Construction and application of evaluation system for agricultural green development in Shaanxi Province from the perspective of rural revitalization[J]. *Liaoning Agricultural Sciences*, 2020(6): 12-17.
- [10] 吴晓斐, 郑宏艳, 黄治平, 等. 丹江口水源涵养区绿色高效农业生态补偿标准测算方法研究[J]. 可持续发展, 2019, 9(1): 54-63. WU X F, ZHENG H Y, HUANG Z P, et al. Study on the calculation method of green and efficient agricultural ecological compensation standard in Danjiangkou water resource conservation area[J]. *Sustainable Development*, 2019, 9(1): 54-63.
- [11] 贾敬敦, 吴飞鸣, 孙传范, 等. 农业科技成果评价指标体系构建研究[J]. 中国农业科技导报, 2015, 17(6): 1-7. JIA J D, WU F M, SUN C F, et al. Studies on establishment of evaluation index system for agriculture science and technology achievements[J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2015, 17(6): 1-7.
- [12] CAMPOS P, ÁLVAREZ A, MESA B, et al. Total income and ecosystem service sustainability index: Accounting applications to holm oak *dehesa* case study in Andalusia-Spain[J]. *Land Use Policy*, 2020, 97: 104692.
- [13] HE W C, LI E L, CUI Z Z. Evaluation and influence factor of green efficiency of China's agricultural innovation from the perspective of technical transformation[J]. *Chinese Geographical Science*, 2021, 31(2): 313-328.
- [14] 丁健, 吴晓斐, 黄治平, 等. 巢湖流域厌氧-土壤净化床工艺处理农村生活污水生态补偿标准测算[J]. 农业资源与环境学报, 2019, 36(5): 584-591. DING J, WU X F, HUANG Z P, et al. Ecological compensation standard assessment for the anaerobic tank-soil bed system in treating the rural domestic sewage in Chaohu Lake basin area[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2019, 36(5): 584-591.

- [15] 崔悦, 赵凯, 周升强, 等. 基于农牧户视角的荒漠化治理中退牧还草技术综合评价——以内蒙古鄂托克旗为例[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2020, 28(1): 147-158. CUI Y, ZHAO K, ZHOU S Q, et al. Comprehensive evaluation of returning grazing lands to grasslands in a desertification control area based on the perspectives of farmers and herdsmen: A case study of Etuoke Banner, Inner Mongolia [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2020, 28(1): 147-158.
- [16] 王翠, 刘世洪, 刘伟, 等. 农业高新技术评价指标体系构建[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(15): 320-323. WANG C, LIU S H, LIU W, et al. Studies on establishment of evaluation index system for high and new agriculture technology[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2019, 47(15): 320-323.
- [17] 赵玉姝. 农户分化背景下农业技术推广机制优化研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014: 150-153. ZHAO Y S. The research of mechanism optimization in agricultural extension under the background of peasant differentiation[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2014: 150-153.
- [18] 焦源. 需求导向型农技推广机制研究——基于农户分化视角[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014: 77-78. JIAO Y. The research on demand-led agricultural extension mechanism under the background of peasant household differentiation[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2014: 77-78.
- [19] 杨兴杰, 齐振宏, 杨彩艳, 等. 农户对生态农业技术采纳意愿及其影响因素研究——以稻虾共养技术为例[J]. 科技管理研究, 2020, 40(1): 101-108. YANG X J, QI Z H, YANG C Y, et al. Farmers' willingness to adopt ecological agriculture technology and its influencing factors: Taking rice and shrimp co-culture technology as an example [J]. *Science and Technology Management Research*, 2020, 40(1): 101-108.
- [20] 储成兵. 逆向选择下农户采用可持续农业生产技术激励机制设计[J]. 湖北工程学院学报, 2019, 39(1): 124-128. CHU C B. Design of incentive mechanism for farmers' adoption of sustainable agricultural production technology in the context of adverse selection[J]. *Journal of Hubei Engineering University*, 2019, 39(1): 124-128.
- [21] 陈俊红, 龚晶, 李芸, 等. 我国农技推广体系的机制创新及经验研究[J]. 科技管理研究, 2019, 39(4): 25-29. CHEN J H, GONG J, LI Y, et al. Mechanism innovation and experience research on agricultural technology extension service in China[J]. *Science and Technology Management Research*, 2019, 39(4): 25-29.