

doi:10.3969/j.issn.1000-7695.2020.21.031

推进优质麦绿色产业技术的影响因素分析

——以河北省优质麦产区为例

李嫣姿^{1,2}, 白静静¹, 王健¹, 刘富强³

(1. 河北农业大学经济管理学院;
2. 河北金融学院国际教育学院;
3. 保定市农业科学院, 河北保定 071000)

摘要: 基于河北省优质麦主产区436户麦农及技术专家实地调研数据, 集成DEMATEL和ISM方法, 构建绿色产业技术采纳的多阶梯结构模型。结果表明, 麦农采纳绿色产业技术的成本收益以及麦农的粮食质量安全和环境保护意识直接影响麦农绿色产业技术采纳行为; 麦农的受教育程度、家庭性质和政府监管强度则属于深层影响因素。因此, 应推进优质麦市场形成机制, 通过可复制的绿色生产模式直接带动绿色产业技术采纳; 完善政府的激励约束机制, 加强高素质农民培育, 以有效促进优质麦绿色产业技术应用。

关键词: 优质麦; 绿色产业技术; 技术采纳; DEMATEL-ISM

中文图书分类号: F323.3

文献标志码: A

文章编号: 1000-7695(2020)21-0240-09

Analysis on influencing factors of promoting high-quality wheat green industry technology: Taking high-quality wheat producing area in Hebei Province as an example

Li Yanzi^{1,2}, Bai Jingjing¹, Wang Jian¹, Liu Fuqiang³

(1. Hebei Agricultural University, College of Economics and Management;
2. Hebei Finance University, Institute of International Education;
3. Baoding academy of agricultural sciences, Baoding 071000, China)

Abstract: This paper integrated DEMATEL and ISM methods, and constructed a multi-step structure model of green industry technology adoption, based on the field survey data of 436 wheat farmers and technical experts in the main high-quality wheat producing areas of Hebei province. The results show that the cost and benefit of adopting green industry technology by wheat farmers and the awareness of quality safety and environmental protection of wheat farmers directly affect the adoption of green industry technology. Wheat farmers' education level, family nature and government supervision intensity are the deep influencing factors. Therefore, this paper argues that the formation mechanism of high-quality wheat market should be promoted, and a replicable green production model should be built to directly drive the adoption of green industry technology. The government's incentive and restraint mechanism should be improved, and the cultivation of high-quality farmers should be enhanced, effectively promoting the application of high-quality wheat green industry technology.

Key Words: high-quality wheat; green industry technology; technology adoption; DEMATEL-ISM

随着消费者对粮食质量安全的关注度不断提升以及消费者膳食习惯的改变, 面粉加工企业对于“营养、安全、无污染”的优质麦需求不断增加^[1], 但当前我国优质麦大量依赖进口^[2], 并且由于麦农长期传统粗放的生产方式, 优质麦生产中存在水资源浪费

严重, 农药、化肥利用效率低下, 以及土壤中的农药残留、铬镍等重金属污染等问题。2019年中央一号文件提出, “通过开展农业节肥节药行动, 发展生态循环农业, 创建农业绿色发展先行区, 加强农村污染治理和生态环境保护, 推动农业农村绿色发

收稿日期: 2019-11-19, 修回日期: 2020-03-25

基金项目: 国家重点研发计划课题“河北水热资源限制区小麦—玉米产后减损、技术扩散与综合评价”(2018YFD0300507)

项目来源: 河北金融学院科研基金项目“基于DEMATEL-ISM优质麦绿色产业技术采纳影响因素研究”(JY202006)

展。”而推进优质麦产业绿色发展，关键要靠绿色产业技术的支撑。绿色产业技术不仅有助于提高资源的利用效率；而且对农业生态环境的持续改善以及农产品质量的持续提升具有重要作用^[3]。麦农作为绿色产业技术的终端需求者和采纳者，其采纳行为直接决定了绿色产业技术能否有效推广应用^[4]。为此，本文通过分析影响麦农采纳绿色产业技术因素间的关联关系及作用机制，探究推进优质麦绿色产业技术应用的关键因素，对促进优质麦产业绿色发展具有重要意义。

1 文献回顾

回顾已有研究文献，学术界对绿色农业技术采纳做了大量的实证研究。针对绿色农业技术的内涵，由于绿色农业技术与绿色农产品紧密相联，随着消费者对绿色农产品需求的增长，派生出生产者对绿色农业技术需求的不断增加。张云华等^[5]认为，绿色农业技术是农业生产中用于生产“安全、无污染、优质、营养”的绿色农产品的农业技术。沈丹宇^[6]依据世界知识产权组织（WIPO）对技术概念的界定，表明狭义的绿色农业技术是指优质品种选育技术、生物防治技术、食品安全生产技术、平衡施肥技术、生物能源技术、农产品质量标准体系和检测技术、信息技术等具体可操作的、绿色环保的工艺手段。本文以优质麦为研究对象，基于前期学者对绿色农业技术内涵的研究，结合优质麦产业链的特点，引申出绿色产业技术指以粮食质量安全为宗旨，以保护生态环境为目标，涉及到优质麦产业链上的多种相互匹配的绿色关键技术集合。

围绕绿色农业技术采纳行为的影响因素，国内外学者运用 Probit 模型、二元 Logistics 模型、结构方程模型进行了大量实证研究。侯晓康等^[7]从农户个体家庭、生产经营、信息获取及绿色农业技术认知因素四个维度分析农户采纳测土配方施肥技术的因素；余威震等^[8]从农户参与市场的能力以及市场环境建设探究了二者对农户采纳绿色农业技术行为的影响；杨玉苹等^[9]研究表明农户的预期收益将显著影响农户参与生态农业转型行为。由于影响因素间具有关联性，吴雪莲等^[10]运用 ISM 方法分析得出提高农户对农产品的安全认知直接影响农户对绿色农业技术的采纳。

通过对上述文献梳理，一方面学者对绿色农业技术扩散的研究主要聚焦于水稻以及蔬菜、瓜果等经济作物的研究，对如何推动优质麦绿色产业技术应用的研究较少；另一方面绿色产业技术扩散是一个复杂的系统，影响农户绿色产业技术采纳的致因

因素非线性交互，探明影响麦农绿色产业技术采纳行为的关键性因素，提升优质麦绿色产业技术采纳效率，是促进优质麦产业绿色发展的关键。基于此，本文集成 Dematel 和 ISM 方法，运用 Dematel 方法分析麦农采纳绿色产业技术的因素间关联关系，结合 ISM 方法构建影响因素的多阶梯结构模型，识别出关键致因因素，为优质麦绿色产业技术应用研究奠定方法与实践基础。

2 麦农采纳绿色产业技术的理论分析和假设

2.1 绿色产业技术的供需分析

麦农作为绿色产业技术的终端需求和采纳者，基于舒尔茨的理性小农理论，农户生产决策的最终目标是追求自身利益或效用最大化^[11]。因而，麦农在采纳绿色产业技术时受技术的投入成本、技术的盈利水平、采用技术的风险、技术信息的质量、优质麦的市场前景以及农户的个人及家庭特征等因素影响。由于绿色产业技术具有应用成本高、风险大等特征，绿色产业技术的采纳成本是麦农决策的关键因素。为此，本文假设除技术采纳成本外其他因素不变，构建一条向右下方倾斜的麦农对某项绿色产业技术的需求曲线。即绿色产业技术的采纳成本越低，采纳该技术的麦农越多；反之则相反。绿色产业技术作为准公共物品，其供给主体主要来自于政府部门及涉农企业^[12]。考虑到绿色产业技术转移的特点，假定任何一个农户面临一条水平的技术供给曲线，水平供给曲线的高度取决于农户采纳绿色产业技术的实施成本与风险^[13]。意味着绿色产业技术不存在供给限制，可提供给无数麦农采纳。选取绿色产业技术的采纳成本 C 作为纵坐标，以绿色产业技术采纳人数 Q 作为横轴， D 表示绿色产业技术需求曲线， S 表示绿色产业技术供给曲线，如图 1 所示。

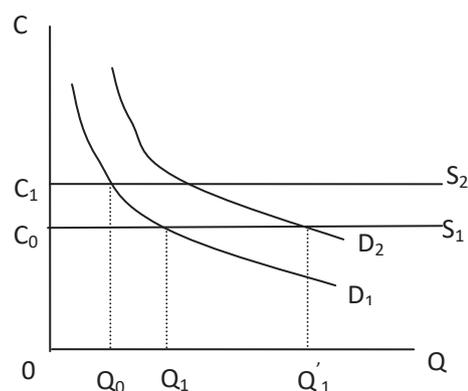


图 1 绿色产业技术采纳的供需关系

若市场环境建设良好，优质麦销路通畅并实现优质优价，麦农的农产品质量安全意识与环保意识提升，政府的技术补贴政策力度加大，即当除技术实施成本的其他因素变动时，会引起需求曲线发生移动，使得绿色产业技术需求曲线从 D_1 移动到 D_2 ，在技术供给曲线为 S_1 时，绿色产业技术的采纳人数从 Q_1 增加到 Q_1' ，如图 1 所示。但目前绿色产业技术推广服务工作落实不到位，麦农无法获得有效的技术指导服务；涉农企业在绿色产业技术扩散过程中缺少带动作用，极大的增加了麦农采纳绿色产业技术的成本，使得绿色产业技术供给曲线由 S_1 移动到 S_2 ，在技术需求曲线为 D_1 时，使得绿色产业技术的采纳人员从 Q_0 减少到 Q_1 。

2.2 绿色产业技术采纳研究假设

结合以上分析，并根据绿色产业技术投入的特点，本文提出麦农采纳绿色产业技术影响因素的以下假设。

(1) 麦农个人特征。大量研究表明，麦农的性别、年龄、受教育程度、风险态度以及麦农的环境保护意识和农产品质量安全意识都会影响麦农绿色产业技术采纳行为。由于麦农年龄主要分布在 45~55 岁之间，并且绿色产业技术采纳决策者往往为男性，因此，本文选取麦农的受教育程度、风险态度、环境保护意识和农产品质量安全意识作为麦农绿色产业技术采纳的个人特征因素。

(2) 麦农家庭特征。1) 麦农家庭的兼业程度。Mcnamara 等^[14]实证研究表明，当农户中大多数劳动力处于兼业情况，那么农户的工作重心转移至非农业，因而缺乏采纳绿色产业技术的动机和需求。由此可见，若麦农家庭兼业程度越高，麦农采纳技术的机会成本会越高，那么麦农越不倾向于采纳绿色产业技术。2) 麦农家庭性质。相对于小农户而言，家庭农场、专业种植大户种植规模较大。林毅夫^[15]提出，在其他条件不变的情况下，种植规模越大，越倾向采纳绿色产业技术。因而，专业种植大户、家庭农场更易于采纳绿色产业技术。政府为鼓励种植大户辐射带动周围小农户，倾向于为种植大户提供更多优惠政策，这进一步刺激了种植大户采纳绿色产业技术。因此，本文选取了麦农家庭性质和兼业情况作为影响麦农绿色产业技术采纳的家庭特征因素。

(3) 绿色产业技术的成本收益。由于利润最大化是理性小农决策的首要条件，邓正华^[16]实证研究表明，技术成本和预期收益显著影响农户对绿色产业技术的采纳。为此，本文假设绿色产业技术投入成本和预期收益影响麦农绿色产业技术采纳。

(4) 绿色产业技术推广服务质量。绿色产业技术供求双方是在一个具有产品差别的和一定竞争性的垄断竞争市场结构中决策，技术需求方通常缺乏专业技术知识，需要学习和培训，以减少信息不完全或不对称。基于信息差异化理论，吴雪莲等^[17]实证研究表明，农户信息搜寻成本越小，信息获取越准确，农户更易于采纳绿色产业技术。由于绿色产业技术操作复杂，受麦农教育水平的限制，曹建民等^[18]研究表明，技术培训频率以及技术指导满意度会显著影响农户绿色产业技术采纳行为。因此，本文假设技术推广信息渠道通畅度、信息质量满意度以及技术指导频率和培训满意度影响麦农绿色产业技术采纳。

(5) 绿色产业技术扩散制度建设。1) 政策因素。由于绿色产业技术的经济和生态效益实现周期较长，而且绿色产业技术的外部性使得短期内技术扩散需要政府干涉。黄炜虹^[19]研究表明，环境管制和技术补贴会对农户的生产方式产生影响。2) 市场环境建设。要实现绿色产业技术扩散最终还需要依托良好的市场环境。完善绿色食品认证体系，提升涉农企业带动作用，让农户享受到绿色产业技术带来的附加收益，从根源上推进绿色产业技术扩散。因此，本文设置技术补贴力度、环境监管强度和产品质量认证作为影响麦农采纳绿色产业技术的制度环境因素。

3 数据调研与样本统计

3.1 数据来源

本文所采取数据来自于课题组 2019 年 9—10 月进行的关于优质麦产业绿色化发展的随机问卷调查，调研区域为河北省优质麦主产区，包括石家庄、衡水、邢台三个地市。调研主体分为农户和省（县）农科院、县技术推广站、以及河北农业大学优质麦技术研发推广领域的专家。调研共分为两个阶段。第一阶段针对农户，调研采取分层抽样法。在每个地市随机选取 1~2 个县（区），每个县（区）随机选取 1~2 个乡镇，每个乡镇随机选取 2~3 个村，最终共调查了 6 个乡镇 13 个村，共计 445 份农户调查问卷。剔除重要变量缺失的无效问卷后，共获得有效问卷 436 份，有效率为 97.98%。第二阶段针对优质麦产业技术领域专家。基于前期对农户的调研，提取出影响其采纳绿色产业技术的影响因素，邀请 50 个专家对各因素间的影响关系进行问卷调研，采用 0~4 标度对因素影响的重要性打分。共收回有效问卷 50 份，有效率为 100%。

3.2 样本统计

基于 436 份有效样本，农户基本情况如表 1 所示。

考虑优质麦产业链环节的关键绿色技术，本文选取了产前（农机深翻技术、良种选育技术）、产中（喷灌节水技术、绿肥种植技术、病虫害绿色防控技术）和产后（秸秆还田技术），统计河北省优质麦主产区农户绿色产业技术采纳情况，如表 2 所示。除秸秆还田技术外，麦农对绿色产业技术的采纳率普遍

偏低。特别是产前的保护性耕作技术及产中的绿肥种植技术，采纳率仅为 5% 左右。而麦农在采纳某项新的绿色产业技术时，重点关注采纳绿色产业技术后是否能带来更高的收益。麦农采纳绿色产业技术考虑因素排序，如表 3 所示。

表 1 农户样本的基本情况

变量	分组	农户数	占比	变量	分组	农户数	占比
性别	男	249	57.11%	兼业情况	是	281	64.45%
	女	187	42.89%		否	155	35.55%
年龄 / 岁	(18,40]	41	9.40%	家庭年收入 / 万元	[0,5)	216	49.54%
	[41,50]	149	34.17%		[5,10)	172	39.45%
	[51,60]	126	28.9%		[10,15)	41	9.40%
	[61,70]	64	14.68%		[15,+∞)	7	1.61%
	[71,+∞)	56	12.84%		耕地面积 / 公顷	[0.07,0.33)	89
受教育水平	小学	43	9.86%	[0.33,0.67)		207	47.48%
	初中	287	65.83%	[0.67,1.00)		82	18.81%
	高中	102	23.40%	[1.00,+∞)	58	13.30%	
	大学以上	4	0.92%				

表 2 麦农绿色产业技术采纳行为统计分析结果

问项	产前				产中				产后				
	农机深翻		良种选育		喷灌节水		绿肥种植		病虫害绿色防控		秸秆还田		
	户数	占比	户数	占比	户数	占比	户数	占比	户数	占比	户数	占比	
是否采纳	是	28	6.42%	67	15.37%	53	12.16%	19	4.36%	205	47.02%	432	99.08%
	否	408	93.58%	369	84.63%	383	87.84%	417	95.64%	231	52.98%	4	0.92%

表 3 麦农采用绿色产业技术考虑的因素排序

考虑因素	选择该因素的农户数	占比	排序
投入成本	188	58.75%	2
是否增产增质	203	63.44%	1
技术风险	121	37.81%	5
销售渠道是否通畅	169	52.81%	3
政府鼓励	108	33.75%	6
家庭经济水平	162	50.63%	4
其他人选择情况	68	21.25%	8
技术难易程度	84	26.25%	7

4 DEMATEL-ISM 模型构建与实证分析

4.1 DEMATEL-ISM 模型构建

20 世纪 70 年代初期，美国学者 Gabus A 和 Fontela E 最早提出 DEMATEL（决策实验室分析）方法，该方法借助图论与矩阵论原理分析系统中各因素的逻辑关系以及影响或被影响程度^[20]。ISM（解释结构模型）是 Warfield J N 开发的一种用于分析复杂社会经济系统的结构问题的方法，该方法主要用于确定各因素的影响层次^[21]。集成 DEMATEL 与 ISM 方法已经广泛应用于产业经济发展、企业管理等各个领域，用于解决复杂系统的经济、社会、技术等影响因素间的因果关系。周德群等^[22]最早提出了集成 DEMATEL-ISM 构建系统层次结构模型的方法；史丽萍等^[23]集成 DEMATEL-ISM 方法，分

析企业应急能力结构要素之间的相互作用机制；常启军等^[24]利用 DEMATEL 分析企业内部各要素综合影响程度及中心度、原因度，结合 ISM 方法得到内部控制系统构成要素之间的层次结构图。

基于河北省优质麦主产区麦农绿色产业技术采纳行为的调研结果，结合国内外学者对农户采纳绿色产业技术的影响因素分析，本文采用集成 DEMATEL-ISM 方法确定影响麦农绿色产业技术采纳的关键致因因素。为了分析麦农采纳绿色产业技术的影响因素，通过明晰的结构以促进优质麦绿色产业技术应用的进一步提升。具体构建分析流程如图 2 所示。

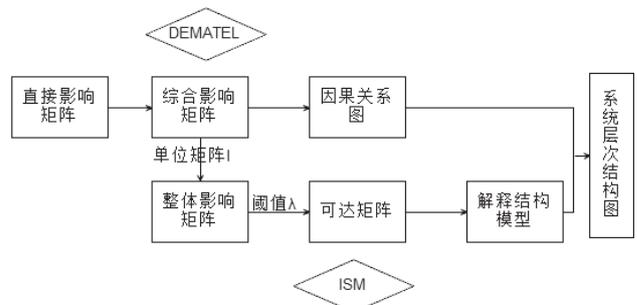


图 2 DEMATEL-ISM 集成流程图

4.2 系统分析过程的六个关键步骤

第一步，确定影响麦农绿色产业技术采纳的因素，如图3所示。本文基于研究假设，将优质麦绿色产业技术采纳行为的影响因素分为外部和内部驱

动因素。内部驱动因素包括农户个人及家庭特征，绿色产业技术的成本与收益。外部驱动因素包括绿色产业技术扩散的服务质量以及制度建设情况。

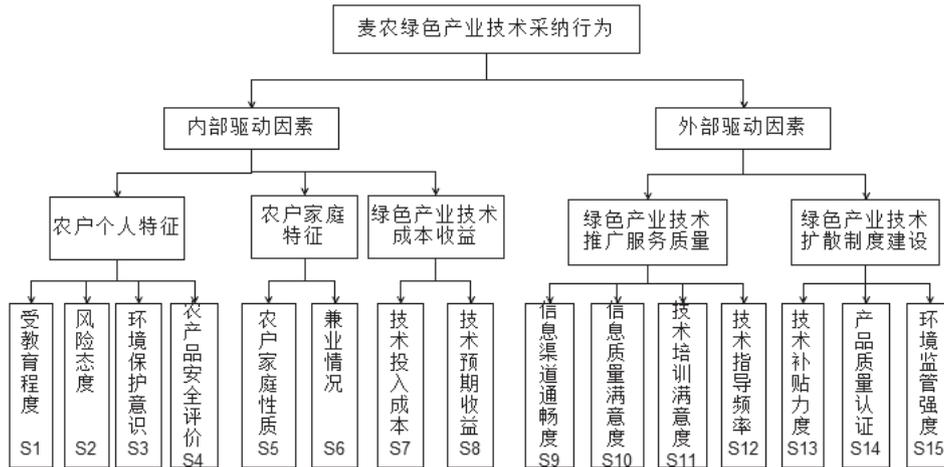


图3 麦农绿色产业技术采纳的影响因素

第二步，构建麦农绿色产业技术采纳行为的直接影响矩阵。通过对专家问卷整理计算出每种情况

出现的次数，并以该频率作为权重对专家意见做集成处理，进而得出直接影响矩阵，如表4所示。

表4 直接影响矩阵

F	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈	S ₉	S ₁₀	S ₁₁	S ₁₂	S ₁₃	S ₁₄	S ₁₅
S ₁	0	3	3	3	0	3	2	1	4	3	3	0	0	0	0
S ₂	0	0	0	4	0	1	3	2	3	3	3	0	0	0	0
S ₃	0	0	0	0	0	0	3	1	2	1	0	0	0	0	0
S ₄	0	2	0	0	0	0	1	1	3	2	2	0	0	0	0
S ₅	3	4	2	4	0	2	4	3	3	1	3	0	0	0	0
S ₆	0	2	0	3	0	0	3	4	3	0	0	0	0	0	0
S ₇	0	3	1	4	0	0	0	4	1	2	2	0	0	0	0
S ₈	0	2	0	2	0	4	3	0	1	1	1	0	0	0	0
S ₉	0	2	2	3	0	2	2	1	0	3	2	0	0	0	0
S ₁₀	0	2	0	2	0	1	3	3	0	0	2	0	0	0	0
S ₁₁	0	3	0	1	0	0	3	2	0	0	0	0	0	0	0
S ₁₂	0	0	0	3	1	0	3	1	1	1	3	0	0	0	0
S ₁₃	0	4	0	4	2	1	3	3	2	1	3	2	0	0	0
S ₁₄	0	0	3	1	1	1	3	4	2	1	0	1	0	0	0
S ₁₅	0	0	4	0	0	0	3	1	3	0	0	0	1	4	0

第三步，确定麦农绿色产业技术采纳行为的综合影响矩阵T，计算结果如表5所示。

$T = X(I-X)^{-1}$ ，其中I为单位阵， $(I-X)^{-1}$ 为 $(I-X)$ 的逆矩阵。

表5 综合影响矩阵

F	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈	S ₉	S ₁₀	S ₁₁	S ₁₂	S ₁₃	S ₁₄	S ₁₅
S ₁	1.000 0	0.207 5	0.125 3	0.227 2	0.000 0	0.152 7	0.196 2	0.148 8	0.219 2	0.186 2	0.187 2	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0
S ₂	0.000 0	1.091 2	0.017 5	0.228 9	0.000 0	0.075 5	0.191 8	0.154 7	0.157 5	0.164 1	0.169 4	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0
S ₃	0.000 0	0.036 6	1.010 7	0.044 9	0.000 0	0.019 3	0.134 8	0.071 7	0.087 3	0.062 5	0.029 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0
S ₄	0.000 0	0.119 2	0.012 4	1.063 4	0.000 0	0.028 9	0.094 1	0.085 9	0.132 4	0.109 2	0.111 8	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0
S ₅	0.103 4	0.272 1	0.104 4	0.296 5	1.000 0	0.141 6	0.285 8	0.236 2	0.216 4	0.147 6	0.215 7	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0
S ₆	0.000 0	0.138 5	0.016 8	0.187 9	0.000 0	1.045 4	0.175 1	0.201 1	0.156 0	0.063 0	0.061 4	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0
S ₇	0.000 0	0.172 9	0.043 9	0.215 2	0.000 0	0.044 6	1.088 2	0.202 2	0.092 3	0.125 8	0.129 8	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0
S ₈	0.000 0	0.134 7	0.012 2	0.151 6	0.000 0	0.162 6	0.172 5	1.078 8	0.090 4	0.083 3	0.085 5	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0
S ₉	0.000 0	0.139 6	0.078 2	0.182 8	0.000 0	0.098 9	0.152 7	0.114 4	1.058 2	0.153 7	0.125 1	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0
S ₁₀	0.000 0	0.130 0	0.009 0	0.140 0	0.000 0	0.066 4	0.166 4	0.163 9	0.046 8	1.045 4	0.115 6	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0

表5(续)

F	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈	S ₉	S ₁₀	S ₁₁	S ₁₂	S ₁₃	S ₁₄	S ₁₅
S ₁₁	0.000 0	0.144 2	0.007 6	0.093 1	0.000 0	0.024 6	0.147 6	0.114 3	0.036 6	0.039 5	1.040 7	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0
S ₁₂	0.003 6	0.068 5	0.013 6	0.168 5	0.034 5	0.026 3	0.164 4	0.096 6	0.075 7	0.077 7	0.151 3	1.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0
S ₁₃	0.007 4	0.256 1	0.025 1	0.281 8	0.071 3	0.095 1	0.238 5	0.220 9	0.162 8	0.127 8	0.208 8	0.069 0	1.000 0	0.000 0	0.000 0
S ₁₄	0.003 7	0.075 0	0.121 6	0.124 4	0.035 7	0.081 0	0.191 4	0.212 0	0.125 7	0.091 3	0.059 5	0.034 5	0.000 0	1.000 0	0.000 0
S ₁₅	0.000 8	0.061 2	0.170 1	0.079 5	0.007 4	0.037 6	0.187 5	0.116 7	0.157 1	0.057 4	0.048 7	0.007 1	0.034 5	0.137 9	1.000 0

第四步，计算麦农绿色产业技术采纳行为各影响因素的影响度、被影响度、中心度和原因度，结果如表6所示。并绘制出笛卡尔坐标系，如图4所示。

表6 DEMATEL方法求解结果

影响因素	影响度	被影响度	中心度	原因度
S ₁	2.650 4	1.118 8	3.769 2	1.531 5
S ₂	2.250 6	3.047 5	5.298 1	-0.796 8
S ₃	1.496 8	1.768 4	3.265 2	-0.271 6
S ₄	1.757 3	3.485 8	5.243 1	-1.728 5
S ₅	3.020 0	1.148 9	4.168 9	1.871 1
S ₆	2.045 3	2.100 4	4.145 7	-0.055 0

表6(续)

影响因素	影响度	被影响度	中心度	原因度
S ₇	2.114 9	3.587 0	5.701 8	-1.472 1
S ₈	1.971 6	3.218 2	5.189 8	-1.246 6
S ₉	2.103 6	2.814 5	4.918 1	-0.710 9
S ₁₀	1.883 3	2.534 7	4.418 0	-0.651 4
S ₁₁	1.648 2	2.739 4	4.387 6	-1.091 2
S ₁₂	1.880 7	1.110 6	2.991 3	0.770 1
S ₁₃	2.764 6	1.034 5	3.799 1	1.730 1
S ₁₄	2.155 7	1.137 9	3.293 6	1.017 8
S ₁₅	2.103 5	1.000 0	3.103 5	1.103 5

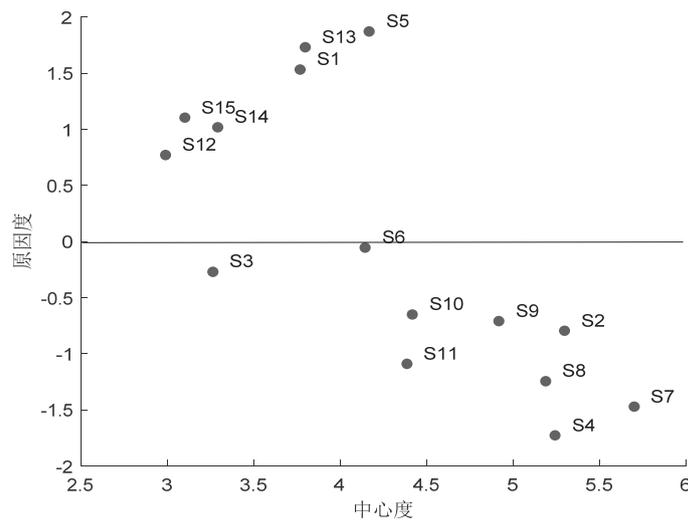


图4 因果图

通过各个因素在笛卡尔坐标系中的相对分布可知，绿色产业技术投入成本因素的中心度最高，表明其在影响麦农采纳绿色产业技术的过程中起着至关重要的作用。这与“理性小农”假说相吻合。由于绿色产业技术的应用需要投入额外成本，如果采纳绿色产业技术无法直接为麦农带来足够高的预期收益，那么麦农在决策时会充分考虑新技术的投入成本。农户家庭性质因素原因度最高，表明农户家庭性质对其他因素的影响最为强烈。农户采用绿色产业技术的预期收益原因度最低，说明该因素受其他因素影响最大。由此可知，专业种植大户、家

庭农场相对于小农户而言，一方面其种植规模较大，土地成片直接为其采纳绿色产业技术提供了物质保障；另一方面种粮大户有较为稳定的销售渠道，通过与加工企业签订购销合同实现优质麦的优质优价，因而其更在意优质麦的品质，更关注绿色产业技术的运用。

第五步，计算麦农绿色产业技术采纳行为综合影响矩阵的标准化可达矩阵。由于阈值影响到后续的可达矩阵的构成及层次划分，经过专家多次商讨验证后，本文确定阈值 $\lambda = 0.137$ ，最终得到的可达矩阵 M ，如表7所示。

表 7 可达矩阵

F	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈	S ₉	S ₁₀	S ₁₁	S ₁₂	S ₁₃	S ₁₄	S ₁₅
S ₁	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
S ₂	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0
S ₃	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S ₄	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S ₅	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
S ₆	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
S ₇	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
S ₈	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
S ₉	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0
S ₁₀	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0
S ₁₁	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
S ₁₂	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0
S ₁₃	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0
S ₁₄	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0
S ₁₅	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1

第六步，对影响麦农绿色产业技术采纳行为 $Q(S_i)$ ，确定第一层因素，如表 8 所示。各因素层级划分。通过计算可达集 $R(S_i)$ 和先行集

表 8 第一层因素确定

F	$R(S_i)$	$Q(S_i)$	$R(S_i) \cap Q(S_i)$
S ₁	S ₁ , S ₂ , S ₄ , S ₆ , S ₇ , S ₈ , S ₉ , S ₁₀	S ₁	S ₁
S ₂	S ₂ , S ₄ , S ₇ , S ₈ , S ₉ , S ₁₀ , S ₁₁	S ₁ , S ₂ , S ₅ , S ₆ , S ₇ , S ₉ , S ₁₁ , S ₁₃	S ₂ , S ₇
S ₃	S ₃	S ₃ , S ₁₅	S ₃
S ₄	S ₄	S ₁ , S ₂ , S ₄ , S ₅ , S ₆ , S ₇ , S ₈ , S ₉ , S ₁₂ , S ₁₃	S ₄
S ₅	S ₂ , S ₄ , S ₅ , S ₇ , S ₈ , S ₉ , S ₁₀ , S ₁₁	S ₅	S ₅
S ₆	S ₂ , S ₄ , S ₆ , S ₈ , S ₉	S ₁ , S ₅ , S ₆ , S ₈	S ₆ , S ₈
S ₇	S ₂ , S ₄ , S ₇ , S ₈	S ₁ , S ₂ , S ₅ , S ₆ , S ₇ , S ₈ , S ₉ , S ₁₀ , S ₁₁ , S ₁₂ , S ₁₃ , S ₁₄ , S ₁₅	S ₂ , S ₇ , S ₈
S ₈	S ₄ , S ₆ , S ₇ , S ₈	S ₁ , S ₂ , S ₅ , S ₆ , S ₇ , S ₈ , S ₁₀ , S ₁₃ , S ₁₄	S ₆ , S ₇ , S ₈
S ₉	S ₂ , S ₄ , S ₇ , S ₉ , S ₁₀	S ₁ , S ₂ , S ₅ , S ₆ , S ₉ , S ₁₃ , S ₁₅	S ₂ , S ₉
S ₁₀	S ₄ , S ₇ , S ₈ , S ₁₀	S ₁ , S ₂ , S ₅ , S ₉ , S ₁₀	S ₁₀
S ₁₁	S ₂ , S ₇ , S ₁₁	S ₁ , S ₂ , S ₅ , S ₁₁ , S ₁₂ , S ₁₃	S ₂ , S ₁₁
S ₁₂	S ₄ , S ₇ , S ₁₁ , S ₁₂	S ₁₂	S ₁₂
S ₁₃	S ₂ , S ₄ , S ₇ , S ₈ , S ₉ , S ₁₁ , S ₁₃	S ₁₃	S ₁₃
S ₁₄	S ₇ , S ₈ , S ₁₄	S ₁₄	S ₁₄
S ₁₅	S ₃ , S ₇ , S ₉ , S ₁₄ , S ₁₅	S ₁₅	S ₁₅

第一层因素集 $L_1 = \{S_3, S_4\}$ 。然后去掉 L_1 中的元素，得到第二层因素集 $L_2 = \{S_7, S_8\}$ ，重复该步骤，分别得到第三层因素集 $L_3 = \{S_{10}, S_{11}\}$ ，第四层因素集 $L_4 = \{S_2, S_9, S_{12}\}$ ，第五层因素集 $L_5 = \{S_6, S_{13}, S_{14}\}$ ，第

六层因素集 $L_6 = \{S_1, S_5, S_{15}\}$ 。根据以上分析结果，构建优质麦绿色产业技术采纳的影响因素层次结构模型，如图 5 所示。

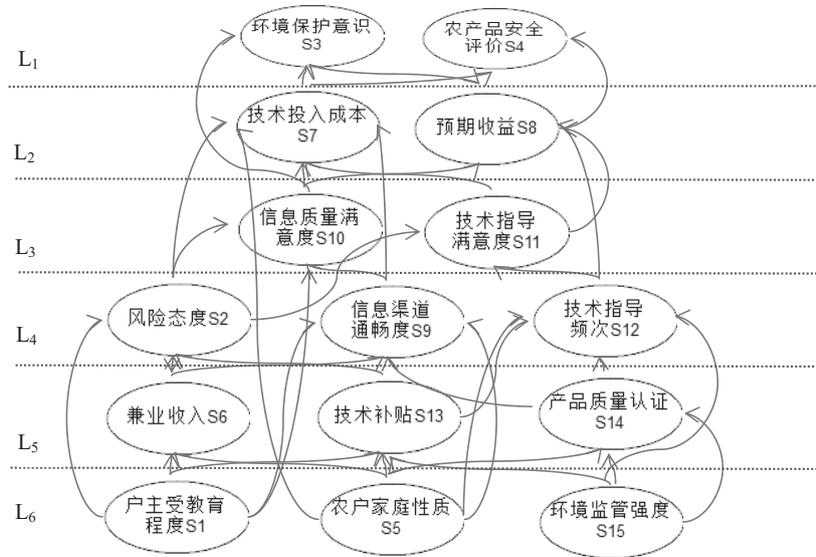


图5 优质麦绿色产业技术采纳因素层次结构模型

5 结论与启示

5.1 结论

本文基于河北省优质麦主产区石家庄、衡水、邢台三地麦农的调查数据，集成 DEMATEL 与 ISM 方法，对影响优质麦绿色产业技术采纳的内、外部驱动因素进行了研究，重点探索了影响麦农采纳绿色产业技术的因素间的逻辑关系和层次结构。主要结论如下：

(1) 麦农采纳绿色产业技术行为受到多个因素共同影响，麦农的农产品安全质量意识和环境保护意识以及采纳绿色产业技术的成本收益属于直接驱动因素。如果优质麦的“优质优价”市场尚未形成，麦农采用绿色技术生产的优质麦获取的收益小于其绿色生产投入的成本以及以绿色方式生产优质麦产量的降低带来的损失，那么“理性”的麦农不会采纳绿色产业技术。这也将进一步影响麦农对农产品安全与环境保护的认知，直接阻碍了麦农采纳绿色产业技术。

(2) 麦农的受教育程度、家庭性质及政府环境监管强度属于深层根源因素，进而影响绿色产业技术推广的服务质量及扩散环境制度建设。如麦农会根据政府的监管、补贴政策来决定是否采纳绿色产业技术，进而影响麦农的预期收益；麦农的受教育水平直接决定了其对绿色产业技术的认知和接纳能力，进而影响其对采纳绿色产业技术的预期收益的衡量以及麦农对农产品质量安全和生态环境的认识。家庭性质决定了麦农的种植规模和经济基础，由于种粮大户有较为稳定的销售渠道以及准确的市场信息，更易实现优质麦的“优质优价”，促使其采纳

绿色产业技术转变生产方式。

5.2 政策启示

(1) 推进形成优质麦市场机制，探索可复制的绿色生产模式。只有麦农采纳绿色产业技术的收益提升，麦农才会考虑采纳该技术。为此，要充分发挥粮食加工企业的辐射带动作用，进一步完善细分市场，采用多样化营销方式，真正实现优质麦从“优质”走向“优价”。探索创建“龙头企业+科研机构+合作社+农户”的绿色生产模式，一方面龙头企业与科研机构密切合作，为其提供绿色产业技术支撑；另一方面企业通过合作社与农户有机联结，企业为麦农提供物资保障及销售渠道，麦农负责优质麦田间种植管理，合作社作为桥梁为麦农提供技术指导服务并辅助完成相关管理工作。

(2) 完善政府激励约束机制，提高绿色产业技术推广服务质量。政府的监督补贴政策对农户采纳绿色产业技术起到靶向作用，影响麦农的采纳决策过程。通过卫星遥感监测、大数据等技术完善农业政策，严格禁止严重影响农产品质量安全以及环境污染的生产行为，并对提升土壤质量、保护生态环境、提高产品安全质量的生产方式给予鼓励和补贴。同时，要完善农技推广人员激励机制，确保麦农能得到及时准确的技术信息和有效的技术指导服务，提高绿色产业技术推广服务质量。

(3) 加强高素质农民培育，加深麦农对绿色技术的认知。提升麦农绿色产业技术采纳率的根源在于提高农民的素质。依托政府部门和龙头企业，从知识普及和技能培训两方面加大对麦农的培育。重点提升麦农对农产品质量安全及环境保护的认知，进而加深麦农对绿色产业技术的认识，同时对麦农提供及时的

技术指导培训，提高麦农的技术操作技能。

参考文献：

- [1] 徐柏园. 发展绿色农业是建设现代农业的最佳选择 [N]. 中国信息报, 2007-09-03(003).
- [2] 孟智鹏, 张靖卓. 优质专用强筋和弱筋小麦生产现状、问题和对策：基于河南等省调研分析 [J]. 农学学报, 2019, 9(3): 89-94.
- [3] GHADIYALI T R, KAYASTH M M. Contribution of green technology in sustainable development of agriculture sector [J]. Journal of Environmental Research & Development, 2012, 1(7): 590-596.
- [4] 储成兵. 农户 IPM 技术采用行为及其激励机制研究 [D]. 北京：中国农业大学, 2015.
- [5] 张云华, 杨晓艳, 孔祥智, 等. 发展绿色农业技术面临的难题与出路 [J]. 生态经济, 2004(S1): 216-218.
- [6] 沈宇丹. 环境友好农业技术创新激励政策研究 [D]. 武汉：华中农业大学, 2009.
- [7] 侯晓康, 刘天军, 黄腾, 等. 农户绿色农业技术采纳行为及收入效应 [J]. 西北农林科技大学学报 (社会科学版), 2019, 19(3): 121-131.
- [8] 余威震, 罗小锋, 李容容. 孰轻孰重：市场经济下能力培育与环境保护？：基于农户绿色技术采纳行为的实证 [J]. 华中农业大学学报 (社会科学版), 2019(3): 71-78, 161-162.
- [9] 杨玉苹, 朱立志, 孙伟琳. 农户参与农业生态转型：预期效益还是政策激励？ [J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(8): 140-147.
- [10] 吴雪莲. 农户绿色农业技术采纳行为及政策激励研究：以湖北省水稻生产为例 [D]. 武汉：华中农业大学, 2016.
- [11] 舒尔茨. 改造传统农业 [M]. 梁小民, 译. 北京：商务印书馆, 2006.
- [12] 李争. 中国油菜生产技术供需的经济学分析 [D]. 武汉：华中农业大学, 2011.
- [13] 凌远云, 郭犹焕. 农业技术采用供需理论模型研究 [J]. 农业技术经济, 1996(4): 9-12.
- [14] MCNAMARA J A, KRAMER K L, JUECKER J P. Invisible retainers [J]. Journal of Clinical Orthodontics, 1985, 8(19): 570-578.
- [15] 林毅夫. 制度、技术与中国农业发展 [M]. 上海：上海三联书店, 1993.
- [16] 邓正华. 环境友好型农业技术扩散中农户行为研究 [D]. 武汉：华中农业大学, 2013.
- [17] 吴雪莲, 张俊飏, 丰军辉. 农户绿色农业技术认知影响因素及其层级结构分解：基于 Probit-ISM 模型 [J]. 华中农业大学学报 (社会科学版), 2017(5): 36-45, 145.
- [18] 曹建民, 胡瑞法, 黄季焜. 技术推广与农民对新技术的修正采用：农民参与技术培训和采用新技术的意愿及其影响因素分析 [J]. 中国软科学, 2005(6): 60-66.
- [19] 黄炜虹, 齐振宏, 杨彩艳. 种植大户专业化的影响因素及其经济效应研究：基于长江中游 502 户种植大户的调查数据 [J]. 华中农业大学学报 (社会科学版), 2019(3): 41-49, 160.
- [20] FONTELA E, GABUS A. The DEMATEL Observer, DEMATEL 1976 Report [R]. Switzerland: Geneva, Battelle Geneva Research Center, 1976.
- [21] WARFIELD J N. Social system: planning, policy and complexation [M]. New York: John Wiley & Sons, 1976.
- [22] 周德群, 章玲. 集成 DEMATEL/ISM 的复杂系统层次划分研究 [J]. 管理科学学报, 2008, 11(2): 20-26.
- [23] 史丽萍, 杜泽文. 基于 DEMATEL-ISM 的企业应急能力结构研究 [J]. 科技管理研究, 2013, 33(5): 227-230.
- [24] 常启军, 王璐, 金虹敏. 基于 DEMATEL 与 ISM 的内部控制创新研究 [J]. 会计之友, 2016(8): 80-85.

作者简介：李嫣资（1989—），女，四川资中人，讲师，博士研究生，主要研究方向农业技术经济；白静静（1990—），女，河北石家庄人，博士研究生，主要研究方向技术补贴政策；王健（1958—），通信作者，男，河北肃宁人，教授，博士生导师，主要研究方向为农业经济管理、信息经济；刘富强（1988—），男，山东平阴人，农艺师，硕士，主要研究方向为农业可持续发展。