

数学的实践与认识
Mathematics in Practice and Theory
ISSN 1000-0984, CN 11-2018/O1

《数学的实践与认识》网络首发论文

题目： 基于 DEMATEL-ISM 模型的农户绿色生态农业技术使用意愿与行为悖离的影响因素识别

作者： 祝宏辉，张颖，尹小君

收稿日期： 2020-11-09

网络首发日期： 2021-04-21

引用格式： 祝宏辉，张颖，尹小君. 基于 DEMATEL-ISM 模型的农户绿色生态农业技术使用意愿与行为悖离的影响因素识别. 数学的实践与认识.
<https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2018.O1.20210421.1058.004.html>



网络首发：在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认：纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

基于 DEMATEL-ISM 模型的农户绿色生态农业技术使用意愿 与行为悖离的影响因素识别*

祝宏辉¹，张颖^{1*}，尹小君²

(1. 石河子大学 经济与管理学院，新疆 石河子 832003)

(2. 石河子大学 信息科学与技术学院，新疆 石河子 832003)

摘要：文章以新疆棉农施用生物肥料为例，基于 445 户棉花种植户的调查，应用 DEMATEL 与 ISM 集成分析方法识别影响绿色生态农业技术使用意愿与行为悖离的关键因素，研究表明：第一，施用成本认知、增产效果认知、持续种植意愿、参与合作社和种植规模等 13 个因素是影响悖离的主要因素；第二，施用成本认知、增产效果认知、技术难度认知、参与合作社和环境改善认知等因素发挥的作用最大，构成了悖离影响因素的结果子系统；第三，年龄和受教育水平等因素是原因子系统的构成要素，是影响悖离的深层次根源因素。通过加强绿色生态农业技术使用示范点建设、健全绿色生态农业技术市场推广体系、加大绿色生态农业技术使用培训力度、出台绿色生态农业技术补贴政策等措施，有助于农户绿色生态农业技术使用行为的改善。

关键词：绿色生态农业技术；意愿；行为；悖离

1. 引言

为满足人口增长与粮食需求的矛盾，化学元素逐渐被投入农业生产之中，虽然保障了人们对农产品的需求，但随之而来的农产品安全、生态环境保护等问题逐渐揭示并被关注^[1]。“高肥高药”的粗放型农业生产方式对土壤、大气、作物和水体造成污染，形成恶性循环，并引发农田质量退化^[2]。为保护耕地生态环境，加强农业面源污染防治，打造人与自然和谐共生发展的新格局^[3]，政府逐渐推广绿色农业生态技术在农业生产中的应用，以促进农业经济效益、生态效益和社会效益的综合提升^[4]。生物肥料是绿色生态农业技术的重要内容之一，能够改善土壤生态环境，降低病虫害的发生，长期施用可提高棉花、小麦和玉米等农作物的产量和品质^[5-8]。然而在实际施用过程中，农户对生物肥料施用却出现“高意愿低行为”的现象，农户行为偏离政策目标实施的方向，生物肥料的推广应用受到阻碍^[9]。农户是生物肥料施用的主体，同时也是农田生态环境保护的直接参与者，但作为理性的小农，利润最大化才是农户生产经营的目标，预期收益是农户具有施用意愿的关键^[10]。而当农户做出实际行动时，其个体资源禀赋的约束使其行为抉择更加理性和现实^[11]，同时技术认知与外部环境也将影响农户对新型农业技术的采纳行为，认知决定主体的态度与看法进而产生意愿，外部环境反映了农业生产与技术推广的现实条件，当现实条件不足以满足意愿就不会产生行为^[12,13]，进而形成悖离的现象。总体来看，由于各区域的外部环境、政策实施力度和技术推广进度存在差异，影响农户选择意愿、行为或意愿与行为悖离的影响因素较多，但关键影响因素并未统一和揭示。因此研究绿色生态农业技术使用意愿与行为悖离的影响因素，剖析各因素的影响深度与作用机制，为促进绿色生态农业技术推广应用，引导农户进行绿色农业生产行为，构建农业经济与生态效益共同发展新格局以及助力乡村振兴战略实施提供政策参考。

2. 材料与方法

2.1 研究区域

新疆是我国主要的棉花生产基地，由于绿洲面积有限且生态环境脆弱，2009 年——2018 年，新疆农田化肥施用量增加了 98.72 万吨，施用强度由 22.12 kg/亩增长至 27.19 kg/亩，远超 15 kg/亩的国际警戒强度，新疆棉田生态环境受到破坏。为重建新疆优质棉生产建设基地，改善棉田生态环境，保障棉花产业安全与可持续发展，根据《自治区到 2020 年实现化肥零增长行动方案》、《新疆维吾尔自治区乡村振兴战略规划（2018-2022 年）》，在棉花主产区开展生物肥料的筛选及施用技术推广研究。但就化肥施用量增长情况看，生物肥料技术推广并没有解决化肥施用量增加和施用高强度的问题。调查发现农户的施用意愿与行为呈现悖离现象，为揭示悖离背后的原因，本文基于 DEMATEL-ISM 的集成分析对影响悖离的影响因素进行识别，以期生物肥料的推广提供可行的政策依据。

2.2 研究方法

1. Logit 模型

悖离的现象主要分为“悖离”和“未悖离”两种现象，本文采用二元 logit 模型对悖离现象影响因素的显著性进行分析，其基本表达形式如下：

收稿日期：2020-11-09

资助项目：国家自然科学基金（71663043），国家社会科学基金（19CJY041），兵团社会科学基金（20YB23）

*通信作者

$$\ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_i x_i \quad (1)$$

式中 x_i 为棉农在种植过程中意愿与行为产生悖离的影响因素， β_0 为截距项， β_i 为第*i*个自变量的回归系数。

2. DEMATEL 模型

DEMATEL 模型是一种运用图论与矩阵工具进行系统因素分析的方法，其主要结果是发现各要素之间的逻辑关系与直接影响关系，计算出各因素对其他因素的影响度和被影响度，从而得出各要素的原因度和中心度，以判断各要素之间的关系有无或者强弱^[14]。主要步骤为先确定各因素间的相关关系并得到直接矩阵 A，正规化直接矩阵后得到新的矩阵 X，计算得到综合影响矩阵 T，通过综合矩阵 T 计算得到各因素影响度 D、被影响度 R、原因度 r 和中心度 f。其中原因度大于 0 的因素为原因因素，表示该因素对其他因素的影响程度，原因度小于 0 的因素称为结果因素，表示该因素受其他因素的影响程度；中心度表示该因素与其他因素之间的密切程度，中心度越大，表明该因素对被解释变量的作用和功能也就越大^[15]。

3. ISM 模型

解释结构模型 (ISM) 适用于分析较为复杂的社会经济系统，其核心思想是提出问题的构成要素，利用有向图、矩阵等工具对要素及其相互关系进行信息处理，最终形成一个具有良好结构关系的多级递阶模型^[11]。模型首先需要确定各因素的相关关系，并构成有向图，再通过有向图转化为邻接矩阵，进行布尔代数运算以后得到可达矩阵，最后对可达矩阵进行分解得到多级递阶结构。

2.3 数据来源

本文的数据主要来自于课题组成员与棉农的访谈和实地调研，课题组成员于 2019 年 10 月—11 月对新疆石河子市、沙湾县、玛纳斯县、尉犁县和喀什地区 5 个棉花主产区的棉花种植户进行实地调研，调查获得问卷共 573 份，剔除“既无使用意愿也无使用行为”的样本 118 份，剩余共 445 份问卷可用于研究“悖离”行为，占总样本率的 77.66%，

2.4 样本特征及变量选取

1. 样本特征

表 1 样本基本特征

类型	选项	频率	占比 (%)	类型	选项	频率	占比 (%)
性别	男	313	70.3	是否户主	是	333	74.8
	女	132	29.7		否	112	25.2
年龄	≤30 岁	37	8.3	是否兼种	是	265	58.2
	31 岁~40 岁	80	18.0		否	180	40.4
	41 岁~50 岁	192	43.1	是否悖离	悖离	258	58
	51 岁~60 岁	132	29.7		未悖离	187	42
	>60 岁	4	0.9	种植规模	≤40 亩	174	39.1
受教育水平	小学以下	27	6.1		41 亩~80 亩	133	29.9
	小学	104	23.4		81 亩~120 亩	84	18.9
	初中	176	39.6		121 亩~160 亩	32	7.2
	高中	96	21.6	>160 亩	22	4.9	
	大专及以上学历	42	9.4				

从选取的样本中可以看出，施用生物肥料的棉农有 187 个，占选取样本量的 40.4%；调查对象主要为户主，占比达 74.8%；主要为男性，占比达 70.3%；年龄主要介于 41 岁~50 岁和 51 岁~60 岁之间，占比分别为 43.1%和 29.7%，说明从事棉花种植的主要为中老年人，青年人较少；受教育程度主要集中于小学和初中，其频率分别占总样本量的 23.4%和 39.6%，说明农户的受教育水平相对较低；单独种植棉花的占比较大，为 58.2%，兼种主要是小麦和玉米，且种植面积相对较少；调查对象的种植规模也主要集中于 40 亩以下，占比 39.1%。

2. 变量选取

结合理论分析与学者们对农户意愿与行为的相关研究中指标选取^[16, 17]，本文从棉农个体特征，生产经营特征，棉农认知和外部环境 4 个方面建立意愿与行为悖离的主要影响因素，各变量的选取及描述性统计见表 2。

表 2 变量选取说明及描述性统计

变量名称	代码	变量定义	均值	标准差	预期作用方向
意愿与行为的悖离	y	悖离=1 没有悖离=0	0.58	0.50	/
性别	X ₁	女=0 男=1	0.70	0.46	+
年龄	X ₂	≤30 岁=1 31 岁~40 岁=2 41 岁~50 岁=3 51 岁~60 岁=4 >60 岁=5	2.97	0.92	-
受教育程度	X ₃	小学以下=1 小学=2 初中=3 高中=4 大专及以上学历=5	3.05	1.03	-
持续种植棉花意愿	X ₄	不想种植=0 想继续种植=1	0.27	0.44	-

风险偏好	X ₅	规避=1 中性=2 偏好=3	2.60	0.57	-
棉花种植劳动力数	X ₆	1人=1 2人=2 ≥3人=3	1.84	0.58	/
种植规模	X ₇	≤40亩=1 41亩~80亩=2 81亩~120亩=3 121亩~160亩=4 >160亩=5	2.09	1.14	-
是否参与合作社	X ₈	否=0 是=1	0.38	0.48	-
信息来源丰富度	X ₉	非常不丰富=1 不丰富=2 一般=3 丰富=4 非常丰富=5	2.43	1.12	-
参与农业生产技术培训频率	X ₁₀	从来没有=1 偶尔参与=2 经常参与=3	2.35	0.68	-
施用风险认知	X ₁₁	非常低=1 较低=2 一般=3 较高=4 非常高=5	3.01	0.92	+
施用成本认知	X ₁₂	很低=1 一般=2 很高=3	2.29	0.73	+
增产效果认知	X ₁₃	减产=1 没有变化=2 增产=3	2.05	0.82	-
质量提升认知	X ₁₄	下降=1 没有变化=2 提高=3	2.55	0.52	-
环境改善认知	X ₁₅	非常低=1 较低=2 一般=3 较高=4 非常高=5	3.01	1.13	-
技术难度认知	X ₁₆	非常低=1 较低=2 一般=3 较高=4 非常高=5	3.73	1.19	+
附近是否有生物肥料销售点	X ₁₇	没有=0 有=1	0.63	0.48	-

3. 结果分析

3.1 影响因素结果分析

本文先对所有因素进行回归得到模型一，再逐步剔除不显著变量，直到回归后的所有变量在10%的水平上显著得到模型二，其结果分析如表3所示：

表3 模型回归结果

变量	模型一		模型二	
	Coef.	Std.Err	Coef.	Std.Err
性别 (X ₁)	0.381	0.278		
年龄 (X ₂)	-0.328**	0.164	-0.310*	0.162
受教育程度 (X ₃)	-0.254*	0.132	-0.249*	0.129
持续种植棉花意愿 (X ₄)	-0.558*	0.299	-0.625**	0.291
风险偏好 (X ₅)	-0.74***	0.245	-0.760***	0.242
棉花种植劳动力数 (X ₆)	-0.133	0.221		
种植规模 (X ₇)	-0.252**	0.116	-0.235**	0.113
是否参与合作社 (X ₈)	-0.579**	0.261	-0.582**	0.252
信息来源丰富度 (X ₉)	-0.421***	0.122	-0.407***	0.121
参与农业生产技术培训频率 (X ₁₀)	-0.388*	0.226	-0.395*	0.207
施用风险认知 (X ₁₁)	0.083	0.141		
施用成本认知 (X ₁₂)	0.639***	0.178	0.626***	0.167
增产效果认知 (X ₁₃)	-0.437***	0.150	-0.433***	0.148
质量提升认知 (X ₁₄)	-0.109	0.302		
环境改善认知 (X ₁₅)	-0.262*	0.136	-0.257**	0.120
技术难度认知 (X ₁₆)	0.242**	0.115	0.237**	0.112
附近是否有生物肥料销售点 (X ₁₇)	-0.906***	0.264	-0.903***	0.260
Constant	6.895***	1.564	6.850***	1.260
P_R ²		0.257		0.252
Log likelihood		-225.117		-226.374

注：*、**、***、分别表示系数在10%、5%和1%的统计水平上显著

个体特征、生产经营特征、棉农认知和外部环境中13个因素通过显著性检验，分别在1%、5%、10%的显著水平上对棉农的意愿和行为背离产生影响，与预期方向基本保持一致。其中，生物肥料施用成本认知和技术难度认知对背离有正向影响，年龄、受教育程度、持续种植棉花意愿、风险偏好、种植规模、参与合作社、信息来源丰富度、参与农业生产技术培训频率、增产效果认知、环境改善认知和附近是否有生物肥料销售点对背离产生负向影响。

3.2 关键要素识别

根据回归分析结果，用 $S_i(i = 0,1,2, \dots,13)$ 表示背离、年龄、受教育程度、风险偏好、持续种植意愿、种植规模、参

与合作社、信息来源丰富度、参与农业技术培训频率、环境改善认知、使用成本认知、增产效果认知、技术难度认知和生物肥料销售点，运用 DEMATEL 模型进行关键因素识别，确定各因素间的直接矩阵 A 为：

$$A = \begin{matrix} S_0 \\ S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \\ S_7 \\ S_8 \\ S_9 \\ S_{10} \\ S_{11} \\ S_{12} \\ S_{13} \end{matrix} \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 2 & 1 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 2 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 2 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 2 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 2 & 2 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 1 & 1 & 2 & 1 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 2 & 2 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

直接矩阵 A 中 0、1、2 是衡量因素之间的直接影响程度强弱，0 表示因素间没有关系，1 表示两因素间关系较弱，2 表示因素间关系很强。然后正规化直接影响矩阵得到新矩阵 X，最后求出综合影响矩阵 T，计算公式为：

$$X = \frac{1}{\max_{0 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n a_{ij}} \quad (2)$$

$$T = X(E - A)^{-1} \quad (3)$$

式中 E 为单位矩阵，通过计算得到综合影响矩阵 T 为：

$$T = \begin{matrix} S_0 \\ S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \\ S_7 \\ S_8 \\ S_9 \\ S_{10} \\ S_{11} \\ S_{12} \\ S_{13} \end{matrix} \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.39 & 0 & 0 & 0.11 & 0.20 & 0.13 & 0.12 & 0.15 & 0.12 & 0.04 & 0.25 & 0.25 & 0.22 & 0 \\ 0.34 & 0 & 0 & 0 & 0.08 & 0.10 & 0.20 & 0.14 & 0.02 & 0.14 & 0.22 & 0.19 & 0.18 & 0 \\ 0.27 & 0 & 0 & 0 & 0.06 & 0.08 & 0.08 & 0.01 & 0.01 & 0.01 & 0.16 & 0.25 & 0.14 & 0 \\ 0.49 & 0 & 0 & 0 & 0.09 & 0.33 & 0.24 & 0.03 & 0.03 & 0.04 & 0.26 & 0.2 & 0.31 & 0 \\ 0.34 & 0 & 0 & 0 & 0.09 & 0.11 & 0.2 & 0.03 & 0.02 & 0.13 & 0.31 & 0.17 & 0.17 & 0 \\ 0.35 & 0 & 0 & 0 & 0.08 & 0.1 & 0.1 & 0.15 & 0.12 & 0.04 & 0.32 & 0.2 & 0.18 & 0 \\ 0.34 & 0 & 0 & 0 & 0.09 & 0.11 & 0.1 & 0.01 & 0.01 & 0.13 & 0.28 & 0.26 & 0.16 & 0 \\ 0.38 & 0 & 0 & 0 & 0.1 & 0.12 & 0.1 & 0.24 & 0.01 & 0.15 & 0.23 & 0.31 & 0.19 & 0 \\ 0.32 & 0 & 0 & 0 & 0.13 & 0.16 & 0.05 & 0.01 & 0.01 & 0.02 & 0.06 & 0.04 & 0.05 & 0 \\ 0.35 & 0 & 0 & 0 & 0.14 & 0.17 & 0.17 & 0.02 & 0.02 & 0.02 & 0.1 & 0.06 & 0.07 & 0 \\ 0.35 & 0 & 0 & 0 & 0.14 & 0.17 & 0.17 & 0.02 & 0.02 & 0.02 & 0.1 & 0.06 & 0.07 & 0 \\ 0.35 & 0 & 0 & 0 & 0.14 & 0.17 & 0.17 & 0.02 & 0.02 & 0.02 & 0.1 & 0.06 & 0.07 & 0 \\ 0.38 & 0 & 0 & 0 & 0.1 & 0.13 & 0.11 & 0.13 & 0.01 & 0.14 & 0.32 & 0.29 & 0.18 & 0 \end{pmatrix}$$

通过综合影响矩阵 T 计算各因素的影响度 D、被影响度 R、原因度 r 和中心度 f，计算结果如表 4 所示。

$$D = e_i = \sum_{i=1}^n a_{ij} \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (4)$$

$$R = f_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} \quad (j = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (5)$$

$$r = D - R \quad (6)$$

$$f = D + R \quad (7)$$

表 4 DEMATEL 模型综合分析表

影响因素	D 影响度	R 被影响度	f 中心度	r 原因度
S ₀ : 悖离	0	4.67	4.67	-4.67
S ₁ : 年龄	1.98	0	1.98	1.98
S ₂ : 受教育程度	1.60	0	1.60	1.60
S ₃ : 风险偏好	1.06	0.11	1.17	0.95
S ₄ : 持续种植意愿	2.04	1.44	3.48	0.60
S ₅ : 种植规模	1.56	1.87	3.43	-0.31
S ₆ : 参与合作社	1.65	1.82	3.47	-0.17
S ₇ : 信息来源丰富度	1.50	0.96	2.46	0.54

S_8 :参与农业生产培训频率	1.82	0.42	2.24	1.40
S_9 :环境改善认知	0.84	0.92	1.76	-0.08
S_{10} :施用成本认知	1.14	2.70	3.84	-1.56
S_{11} :增产效果认知	1.14	2.35	3.49	-1.21
S_{12} :技术难度认知	1.14	2.01	3.15	-0.87
S_{13} :生物肥料销售点	1.78	0	1.78	1.78

从中心度分析，影响悖离的因素的重要程度大小为： S_{10} :施用成本认知 $>$ S_{11} :增产效果认知 $>$ S_4 :持续种植意愿 $>$ S_6 :参与合作社 $>$ S_5 :种植规模 $>$ S_{12} :技术难度认知 $>$ S_7 :信息来源丰富度 $>$ S_8 :参与农业生产培训频率 $>$ S_1 :年龄 $>$ S_{13} :生物肥料销售点 $>$ S_9 :环境改善认知 $>$ S_2 :受教育程度 $>$ S_3 :风险偏好，可以看出使用成本认知和增产效果认知对悖离的影响最大，这也与调查了解到的大致相同，生物肥料的施用成本远高于化肥，且缓释性的特点将导致短期棉花产量下降，棉农的收益受损，即使棉农具有生态环境保护意识而有施用意愿，也会因此放弃施用行为。

从原因度分析，原因度大于 0 的影响因素的重要性程度大小为： S_1 :年龄 $>$ S_{13} :生物肥料销售点 $>$ S_2 :受教育程度 $>$ S_8 :参与农业生产培训频率 $>$ S_3 :风险偏好 $>$ S_4 :持续种植意愿 $>$ S_7 :信息来源丰富度，这些因素的值为正值，为典型的原因因素；原因度小于 0 的影响因素的重要性程度大小为： S_{10} :施用成本认知 $>$ S_{11} :增产效果认知 $>$ S_{12} :技术难度认知 $>$ S_5 :种植规模 $>$ S_6 :参与合作社 $>$ S_9 :环境改善认知，这些因素的值为负值，为典型的结果因素，受其他因素的影响较大。

3.3 关键要素结构层次

运用 ISM 模型对悖离的影响因素进行解释性结构分析，先确定各因素之间是否存在“相互影响”或“互为前提”的逻辑关系，其中“ A ”表示行因素受到列因素的影响，“ V ”表示列因素受到行因素的影响，从而得到逻辑关系图，再通过公式 8 得到邻接矩阵 R_{ij} 。

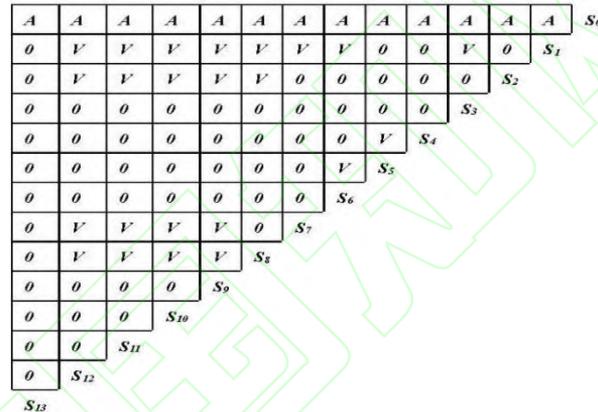


图 1 影响因素间的逻辑关系

$$r_{ij} = \begin{cases} 1, & S_i \text{对} S_j \text{有直接影响} \\ 0, & S_i \text{对} S_j \text{无直接影响} \end{cases} \quad (i = 0,1,2, \dots, 13); (j = 0,1,2, \dots, 13) \quad (8)$$

$$R_{ij} = \begin{matrix} S_0 \\ S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \\ S_7 \\ S_8 \\ S_9 \\ S_{10} \\ S_{11} \\ S_{12} \\ S_{13} \end{matrix} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

由邻接矩阵 R_{ij} ，采用布尔代数运算法则进行矩阵的幂运算得到可达矩阵 M_{ij} ，其公式为：

$$M_{ij} = (R + I)^r = (R + I)^{r-1} \neq \dots \neq (R + I)^2 \neq (R + I) \quad (9)$$

式中 I 为单位矩阵， $r \leq n - 1$ ， n 是矩阵的阶数，运用 Matlab 软件经过多次幂运算得到可达矩阵 M_{ij} 。

$$M_{ij} = \begin{matrix} S_0 \\ S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \\ S_7 \\ S_8 \\ S_9 \\ S_{10} \\ S_{11} \\ S_{12} \\ S_{13} \end{matrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

利用可达矩阵 M_{ij} ，寻找生物肥料技术使用意愿与行为悖离的影响因素层级，确定方法如下：

$$L_i\{S_i|P(S_i) \cap Q(S_i)\} = P(S_i); i = 0,1,2, \dots, 13 \quad (10)$$

根据公式 10 得到影响因素的层次为： $L_1 = \{S_0\}$, $L_2 = \{S_3; S_6; S_9; S_{10}; S_{11}; S_{12}; S_{13}\}$, $L_3 = \{S_5; S_7; S_8\}$ 和 $L_4 = \{S_1; S_2; S_4\}$ ，经过排序后得到基于 ISM 模型的影响因素可达矩阵 N：

$$N = \begin{matrix} S_0 \\ S_3 \\ S_6 \\ S_9 \\ S_{10} \\ S_{11} \\ S_{12} \\ S_{13} \\ S_5 \\ S_7 \\ S_8 \\ S_1 \\ S_2 \\ S_4 \end{matrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

根据可达矩阵 N 最终得到因素间关联和结构图，如图 2 所示：

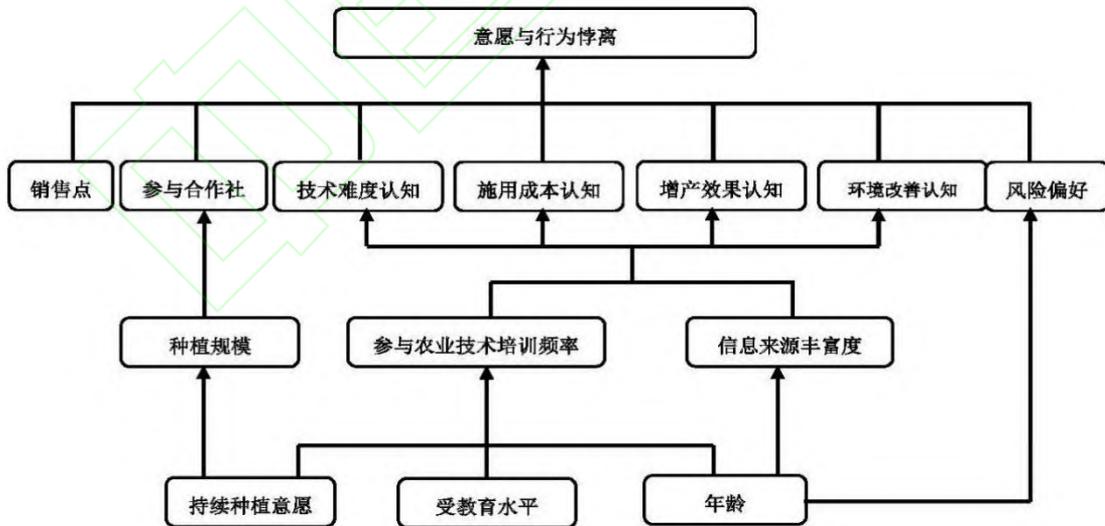


图 2 各影响因素的关联与层级结构

根据 ISM 模型分析，生物肥料销售点、参与合作社、技术难度认知、施用成本认知、增产效果认知、环境改善认知和风险偏好为表层因素，直接影响棉农生物肥料施用意愿与行为悖离；种植规模、参与农业技术培训频率和信息来源丰富度为深层次因素；棉农持续种植意愿、受教育水平和年龄为直接根源因素。

4 结论及对策建议

4.1 研究结论

以新疆棉农施用生物肥料为例，基于 445 份调研问卷，运用 DEMATEL 与 ISM 集成分析识别影响农户绿色生态农业技术使用意愿与行为悖离的主要因素，得出以下结论：

1) DEMATEL 结果显示,施用成本认知、增产效果认知、持续种植意愿、参与合作社和种植规模等因素是影响悖离的主要因素;其中施用成本认知和增产效果认知等因素构成结果子系统,对悖离有着最为直接的影响,年龄、生物肥料销售点和受教育程度等因素构成原因子系统。

2) ISM 模型显示影响悖离的因素层级结构为:生物肥料销售点、参与合作社、技术难度认知、使用成本认知、增产效果认知、环境改善认知和风险偏好为表层因素,种植规模、参与农业技术培训频率和信息来源丰富度为深层次因素,持续种植意愿、受教育水平和年龄为直接根源因素。

4.2 对策建议

1) 加强绿色生态农业技术示范点建设。规范农业生产专业合作社建设,鼓励农户积极参与,选取种植大户建立绿色生态农业技术使用示范户,发挥规模经营优势和技术示范效应,加强绿色生态农业技术应用培训,提高农户对技术的深度认知,以促进绿色生态农业技术的使用行为。

2) 健全绿色生态农业技术推广体系。增设绿色生态农业技术销售和技术服务网点,合理布局,提高技术服务的供给能力;加强绿色生态农业技术的效用宣传,增强农户的环境保护意识、安全生产意识和农户对技术信息的自我诉求,提高绿色生态农业技术的采纳行为。

3) 加大绿色生态农业技术使用培训力度,建立基层农业科技人员定期培训制度,由基层农业科技人员引导提升农户对绿色生态农业技术效用的认知,开展田间实地指导,降低技术使用难度;同时利用互联网进行信息交流,丰富农户的信息来源渠道,在基层科技人员引导和自身反应的共同作用下,促进棉农绿色生态农业技术使用行为。

4) 出台绿色生态农业技术补贴政策。从资金,税收,信贷等多方面制定优惠政策,测算、确定绿色生态农业技术的施用补贴标准,制定补贴方案,对使用绿色生态农业技术的农户给予一定补贴,降低技术的施用成本有助于促进绿色生态农业技术的推广。

参考文献:

- [1]自由路.高效施肥技术研究的现状与展望[J].中国农业科学,2018,51(11):2116-2125.
- [2]史常亮,李赟,朱俊峰.劳动力转移、化肥过度使用与面源污染[J].中国农业大学学报,2016,21(5):169-180.
- [3]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.
- [4]谭秋成.作为一种生产方式的绿色农业[J].中国人口资源与环境,2015,25(9):44-51.
- [5]阎世江,李照全,张治家.生物菌肥的研究现状与应用[J].北方园艺,2017(5):189-19.
- [6]王继雯,赵俊杰,李冠杰等.新型复合微生物肥料对冬小麦生物学性状的影响[J].南方农业学报,2018,49(10):1953-1958.
- [7]陈龙,孙广正,姚拓等.干旱区微生物肥料替代部分化肥对玉米生长及土壤微生物的影响[J].干旱区资源与环境,2016,30(7):108-113.
- [8]Rui Li,Rui Tao,Ning Ling,Guixin Chu. Chemical, organic and bio-fertilizer management practices effect on soil physicochemical property and antagonistic bacteria abundance of a cotton field: Implications for soil biological quality[J]. Soil & Tillage Research,2017,167.
- [9]罗立卓.河北省生物肥料推广模式及农户行为选择研究[D].河北农业大学,2015.
- [10]温宁,张红丽.干旱区农户农田防护林经营意愿与行为悖离影响因素分析——基于新疆农户的调查研究[J].干旱区资源与环境,2020,34(4):59-64.
- [11]余威震,罗小锋,李容容等.绿色认知视角下农户绿色技术采纳意愿与行为悖离研究[J].资源科学,2017,39(8):1573-1583.
- [12]张洁,陈美球,谢贤鑫等.农户生态耕种采纳行为影响因素实证研究——基于江西省 1488 份农户的调查数据[J].生态经济,2020,36(5):99-103.
- [13]罗颖,郑逸芳,许佳贤.农户参与土地信托流转意愿与行为选择偏差研究——基于福建省沙县农户的调查数据[J].中共福建省委党校学报,2019(5):115-123.
- [14]牛利民,姜雅莉.农户参与小型农田水利合作灌溉意愿及影响因素研究——基于 DEMATEL 法的实证分析[J].中国农村水利水电,2017(10):194-200.
- [15]蔡永自,郭丽平,徐建军.基于 DEMATEL-ISM 模型的居民屋顶光伏设备安装意愿的影响因素研究[J].数学的实践与认识,2020,50(1):27-36.
- [16]余威震,罗小锋,唐林等.农户绿色生产技术采纳行为决策:政策激励还是价值认同?[J].生态与农村环境学报,2020,36(3):318-324.
- [17]杨玉苹,孙炜琳,朱立志.农户生物菌肥购买意愿及行为的影响因素研究——基于山东省设施菜农的调研数据[J].中国农业资源与区划,2019,40(2):49-55+78.

Identification of Influencing Factors of Farmers' Willingness to Use Green Ecological Agricultural Technology and Behavior Deviation Based on DEMATEL-ISM Model

ZHU Hong-hui¹, ZHANG Ying¹, YIN Xiao-jun²

- (1. College of Economics and Management, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832003, China)
- (2. College of Information Science and Technology, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832003, China)

Abstract: Based on the survey of 445 cotton growers in Xinjiang, this paper uses DEMATEL and ISM integrated analysis method to identify the key factors that affect the deviation of green ecological agricultural technology application intention and behavior. The results show that: firstly, 13 factors such as application cost cognition, yield increase effect cognition, continuous planting willingness, participation in cooperatives and planting scale are influencing the deviation; secondly, the cognition of application cost, the cognition of increasing production effect, the cognition of technical difficulty, the cognition of participation in cooperatives and environmental improvement play the most important role, which constitute the result subsystem of the influencing factors of deviation; thirdly, the factors such as age and education level are the constituent elements of the cause subsystem and the deep-seated root factors influencing the deviation. Through strengthening the construction of demonstration sites of green ecological agricultural technology, improving the market promotion system of green ecological agricultural technology, increasing the training intensity of green ecological agricultural technology use, introducing the subsidy policy of green ecological agricultural technology, it is helpful to improve the use behavior of green ecological agricultural technology.

Key words: green ecological agricultural technology; willingness; behavior; deviation

