农户对低碳农业技术的后续采用意愿分析

陈 儒，姜志德

（西北农林科技大学 经济管理学院，陕西 杨陵 712100）

摘 要：以计划行为理论为基础，利用调研获取的农户数据，分析了农户当前对于低碳属性农业技术的采用现状，并采用多层 Logistic 回归模型估计了农业项目和农户两个层面因素对农户低碳农业技术后续采用意愿所产生的影响。结果表明：农户对于低碳农业技术采用后的效果评价较好，技术需求度和后续采用意愿均处于较高的水平上，并且不同类型农户对当前低碳农业技术的采用程度、偏好程度存在一定差异；农业生产项目和农户经营主体两个层面的因素均对农户低碳农业技术后续采用意愿产生重要影响，且对于不同类型农户后续采用意愿的作用效果存在一定差异，其中农业项目的地理特征、经济效益、资金技术要素投入强度和农户的行为意向产生的影响作用较强；农户技术采用强度受到农户个体特征和行为意向的显著影响，且作用效果在不同类型农户之间存在明显差异。

关键词：低碳农业技术；采用意愿；农业技术推广；计划行为理论

中图分类号：F303.2 **文献标识码：**A **文章编号：**1672－0202(2018)02－0031－13

一、引言

农业生产中人为活动产生的温室气体排放已占到全球排放总量的 14.9%，对全球气候变暖产生了深刻的影响。随着应对气候变化工作的开展，研发、推广和应用低碳农业技术已成为实现农业生产固碳减排的关键措施。近年来，在推广的农业技术体系中逐步演变出诸多具有低碳属性的环境友好型农业技术，这些技术均得到一定程度地采用并取得了良好的效果，例如中国政府全面推行的“农村沼气建设工程”，通过借助沼气技术促使秸秆、禽畜粪便等农业废弃物实现资源化处理并得以循环利用，实现年均减少农业碳排放 2800 多万吨（CO_2 当量）[1]；又如政府广泛推行的测土配方施肥技术，通过科学合理地搭配化肥施用量进而减少农业要素投入的浪费，其中因氮肥田间施用量的减少而实现的农业温室气体的减排量已达到 1171.83 万吨（CO_2 当量）[2]。农户是农业技术采用的主体，现有农业技术应用所带来的固碳减排成效亦是亿万分散农户在农业生产过程中集中碳效应的体现[3]，因此进一步加强引导农户对低碳属性农业技术的采用，是实现低碳农业生产的关键。需要指出的是，在当前农户异质性不断增强的情境下，不同类型农户表现出的技术需求偏好差异也愈发明显，明晰不同类型农户对当前已采用低碳属性技术的心理感知，区分农户技术采用行为的特征差异，深入了解各类农户低碳农业技术后续采用意愿及内在规律，是实现低碳属性农业技术供给与农户多元化需求精准对接、农业技术转化与扩散的重要环节。

从现有研究来看，人们从不同视角展开了对农户技术采用意愿、行为及其影响因素的研究，整体上均围绕着农户和农业技术两个层面进行论述。在农户层面上，部分学者将农户按地域进行归

收稿日期：2017－10－19 **DOI：**10.7671/j.issn.1672－0202.2018.02.004

基金项目：国家自然科学基金面上项目（71573212）；中国清洁发展机制基金赠款项目（2012027）

作者简介：陈 儒（1991—），男，山西曲沃人，西北农林科技大学经济管理学院博士研究生，主要研究方向为生态农业、低碳经济. E－mail：R.CHEN@foxmail.com

类,研究地域资源环境、经济发展水平限制对农户技术采用意愿的影响[4-5],认为资源禀赋的差异显著影响农户的技术采用行为[6];还有部分学者基于农户的异质性探究农户技术采用行为或意愿的差异[7],诸如性别[8]、收入水平[9]等;或基于农户土地规模、生产项目等经营特征差异划分农户类型,探讨农户技术采用意愿的影响因素[10]。在农业技术层面上,较多学者从农业技术属性和具体农业技术两个角度出发展开研究,满明俊等[11]考察了农户对采用不同属性技术所表现出的行为差异,基于农户技术采用前的考虑和技术采用后的担忧两个角度分析了影响农户技术采用决策的因素,并指出技术属性的差异能够显著影响农户对新技术的采用;霍瑜等[12]、王奇等[13]和祝华军等[10]分别利用实地调查数据,探究了农户对生态属性农业技术、有机属性农业技术和低碳属性农业技术的采用意愿,并深入剖析了其主要影响因素。此外,基于具体农业技术视角对农户技术采用意愿、行为及其影响因素的研究成果更为丰硕,涵盖了水稻 IPM 技术[14]、粮食种植技术[15]、玉米食根虫 Bt 种子技术[16]等方面。

已有成果对本研究具有重要的启发和借鉴意义,但仍存在诸多不足。从研究对象来看,学者在研究低碳属性农业技术时(研究客体),在对农户(研究主体)异质性影响的考虑中往往容易忽视农户生产项目经营特征的差异性,如此难以判断农户在不同农业项目上真实的技术需求偏好;从研究内容来看,现有研究较多关注当前农户技术采用的现状、行为意愿,欠缺对农户技术采用后行为态度变化的重视,不利于后续农业技术的转型供给和农户多元化的需求;从研究方法来看,学者较多构建 Logistic 模型、Probit 模型等分析农户技术采用行为意愿的影响因素,往往忽略了数据中明显的层次因素对回归结果的影响,使得回归结果缺乏一定的准确性。鉴于此,本研究在充分吸收前人成果基础上,以计划行为理论为基础,利用调研获取的农户面板数据构建多层 Logistic 回归模型,从农业项目和农户个体两个层面探讨不同类型农户低碳农业技术后续采用意愿的影响因素。

二、农户低碳农业技术采用意愿的理论分析与变量选取

(一)理论分析

从农户个体层面来讲,农户对某一类低碳农业技术的采行意愿更多是农户在项目成本与收益之间权衡比较的心理体现[17-18],即行为意向。计划行为理论(Theory of Planned Behavior,TPB)指出人的行为意向主要受到其行为态度、主观规范和知觉行为控制 3 方面因素的影响,这些因素是决定个体行为意向的3 个主要变量[19-20]。行为态度是个体心理情绪的直观反映,主要指个体对执行某具体行为的认知与评价,即农户采用某类低碳农业技术后,对技术使用效果形成的主观评价及后续采用必要性的认知;主观规范是指个体在决定是否执行某特定行为时感知到的社会压力,这种感知压力会激发个体对其思想和行为进行约束,农户决定是否采用某项技术时的社会压力主要源于农户对村民集体采用该项技术发生概率的判断,内心预判结果往往会对其技术采用意愿产生重要影响;知觉行为控制是指个体感知、评估自身在执行某特定行为时的胜任能力,包括行为难易程度和自身可控能力等,它反映的是个体对促进或阻碍执行行为因素的知觉,农户技术采用偏好则是这一知觉的侧面体现。此外,农户的基本生理限制也会影响其技术采用的行为决策[17],该限制主要源于决策者的个体特征差异。

从农户群体层面来讲,不同类型农户是否愿意采用某一类低碳农业技术,源于其对自身所经营农业项目生产特征、成本效益的深思熟虑。首先,不同农业项目经营的地理特征存在一定差异,比如土地类型、面积,而有些农业技术的应用实施对地理条件有特殊的要求,从而影响农户对该类技术的采行意愿。其次,地方政府为引导农业产业结构调整,致使不同项目所面临的政策环境也各不相同,由此产生的制度环境限制将会影响群体间技术的采用意愿。再次,农户是否采用某一

类低碳农业技术，将更多考虑项目技术要素投入现状和由此带来的资金、劳动力持续投入而引起的成本负担，以及项目所能产生的经济效益。因此，不同类型农户生产项目所处的地理特征、制度环境、要素投入强度、经济效益的差异是影响农户低碳农业技术采用意愿的重要影响因素。理论分析模型如图 1 所示。

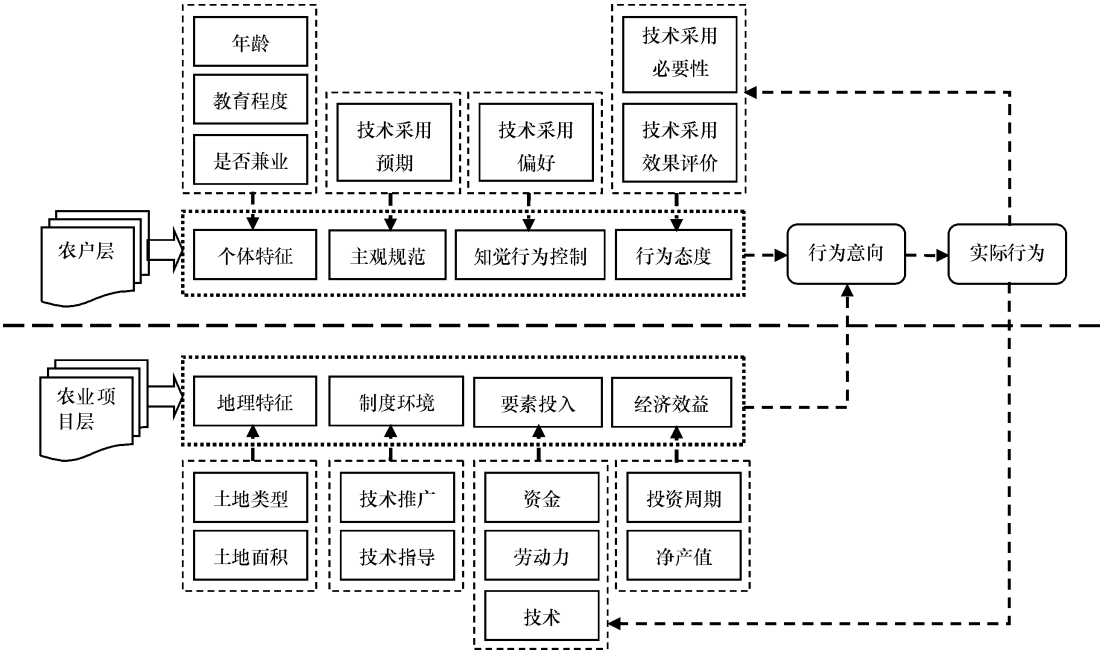


图 1　理论分析模型

（二）变量选取

基于理论分析，在借鉴相关文献基础之上，结合数据可获得性，本研究最终选取 2 层 6 个方面的因素作为解释变量，其中农业项目层包含 4 个方面 9 个自变量，即地理特征（土地类型、土地面积）、制度环境（政府是否进行了技术推广、项目是否配备了技术指导员）、要素投入（项目资金投入、项目劳动力投入、低碳技术投入）、经济效益（投资周期、净产值）；农户层包含 2 个方面 7 个自变量，即个体特征（年龄、受教育程度、是否兼业）、行为意向（是否有必要采用、技术采用效果评价、技术采用预期、技术采用偏好）。被解释变量为农户在不同项目上低碳农业技术的后续采用意愿，将农户对低碳农业技术的后续采用意愿表达为“不愿意”的赋值为 0，表达为“愿意”的赋值为 1。相关变量赋值及预期作用方向如表 1 所示：

表 1　变量赋值及预期作用方向

变量名称		变量赋值	均值	标准差	预期方向
被解释变量	后续采用意愿	不愿意 =0 愿意 =1	0.94	0.24	
解释变量					
农业项目层面：					
地理特征	土地类型	坡耕地 =1；梯田 =2；川地 =3	2.29	0.70	?
	土地面积	农户实际种植、养殖占地面积/亩	5.02	7.83	+
制度环境	政府是否进行了技术推广	否 =0；是 =1	0.56	0.52	+
	项目是否配备了技术指导员	否 =0；是 =1	0.41	0.52	+

续表1 变量赋值及预期作用方向

变量名称		变量赋值	均值	标准差	预期方向
要素投入	项目资金投入	项目资金投入数量/元	4720.71	8272.63	?
	项目劳动力投入	项目劳动力投入数量/人	2.18	0.87	?
	低碳技术投入	项目低碳技术投入数量/种	2.75	2.18	+
经济效益	投资周期	项目从生产到销售实际周期/月	7.90	3.50	−
	净产值	农户家庭实际农业纯收入/元	9853.49	21274.58	+
农户层面:					
个体特征	年龄	农户实际年龄/岁	52.83	10.10	?
	受教育程度	文盲=1; 小学=2; 初中=3; 高中=4; 大专及以上=5	2.19	0.91	+
	是否兼业	否=0; 是=1	0.58	0.49	?
行为意向	是否有必要采用	否=0; 是=1	0.91	0.28	+
	技术采用效果评价	不好=1; 一般=2; 好=3	2.71	0.55	+
	技术采用预期	少部分=1; 一半=2; 大部分=3	2.62	0.68	+
	技术采用偏好	投资成本=1; 操作难易程度=2; 使用后效果=3	2.03	0.96	?

注:预期方向为"+"表示解释变量对被解释变量可能有正向的影响,"−"表示可能有负向的影响,"?"表示解释变量对被解释变量的作用方向不能确定。

三、数据来源、样本描述与模型构建

(一)数据来源

本研究所采用的数据源于课题组2016年7—8月实地进行的农户问卷访谈。为了尽可能避免地域差异、自然资源禀赋等对农业生产项目经营特征的干扰,同时基于数据的可获得性原则,课题组对陕西省安塞县自北向南依次对农户进行抽样调查,问卷调研采用表格和选择题形式,对2015年农户的个体特征、家庭特征、生产经营状况、农业技术采用情况等进行了全面了解,最终共获取280份问卷。依据本研究需要,进一步将样本限定于低碳农业技术采用范围内,共整理筛选出有效问卷258份,涉及478个农业生产项目。化肥、农药、农膜等农用品消耗、秸秆燃烧、农业能源消耗以及牲畜粪便管理等是农业碳排放主要来源,农业碳汇主要源于农作物植被固碳、土壤固碳等[21];能够在生产环节实现温室气体减排或农业碳汇增加的技术为严格意义上的低碳农业技术[22]。因此,在借鉴邓悦等[22]对不同低碳农业技术梳理分析的基础之上,结合调研农户的实际生产情况,本文筛选出7种调研地区固碳减排效果较好的低碳农业技术,分别为病虫害物理防控技术、旱区节水灌溉技术、测土配方施肥技术、保护性耕作技术、沼气应用技术、秸秆资源化处理技术、农林牧业固碳增汇技术。

(二)样本描述

如表2所示,在受访农户中,97.67%为户主,由于户主在家庭中具有一定的最终决策权,故户主的意愿可代表家庭最终决策意愿;59.69%的受访农户年龄均在51岁以上,农村务农人员老龄化趋势明显;65.12%的受访农户文化程度处于小学及以下,农户受教育水平偏低;53.88%的受访农户都进行了兼业生产,农户兼业化程度较高;48.45%的受访农户农业年纯收入在5000元及以下,33.72%的农户在20001元及以上,农户收入水平偏低且两极分化明显;家庭劳动力数量在2~4人的农户比例为88.37%,处于中等规模水平。此外,在走访调研过程中发现,安塞县农业产业结构

不断调整，种植业初步形成了以玉米、谷子、豆类、薯类为主的粮食作物生产结构，以蔬菜、果木为主的经济作物生产结构，畜牧业逐步形成以圈养式饲养为主的生产格局；同时随着农村兼业化程度的提升与农业科技的进步，农户逐渐分化成诸多经营类型。本文在结合相关研究成果基础上[23-24]，综合比较各类农业生产项目的产值规模、劳动力投入数量和周期 3 个指标，依据农户调研实际情况，将农户划分为粮食作物主导型、设施经济作物主导型、经济林木主导型、家禽牲畜主导型四大类型，其中粮食作物主导型农户共经营 152 个农业生产项目，设施经济作物主导型农户共经营 112 个农业生产项目，经济林木主导型农户共经营 120 个农业生产项目，家禽牲畜主导型农户共经营 94 个农业生产项目。

表 2　样本农户的基本情况

指标	类型	户数/户	比例/%	指标	类型	户数/户	比例/%
户主	是	252	97.67	农业年纯	5000 及以下	125	48.45
	否	6	2.33	收入/元	5001 ~ 10000	25	9.69
年龄/岁	30 及以下	4	1.55		10001 ~ 15000	10	3.88
	31 ~ 40	26	10.08		20001 及以上	87	33.72
	41 ~ 50	74	28.68	家庭劳动	1 及以下	5	1.94
	51 及以上	154	59.69	力数量/人	2	118	45.74
文化程度	文盲	62	24.03		3	57	22.09
	小学	106	41.09		4	53	20.54
	初中	71	27.52		5 及以上	25	9.69
	高中	16	6.20	农户类型	粮食作物主导型	88	34.11
	大专及以上	3	1.16		设施经济作物主导型	77	29.84
兼业	是	139	53.88		经济林木主导型	51	19.77
	否	119	46.12		家禽牲畜主导型	42	16.28

（三）不同类型农户低碳农业技术采用的现状

（1）低碳农业技术采用率。如表 3 所示，农户对不同类型低碳农业技术的采用程度有所差异，病虫害物理防控技术、测土配方施肥技术、保护性耕作技术均为设施经济作物主导型农户的采用率居高，分别达到 35.06%、29.87%、22.08%；旱区节水灌溉技术中节水技术仍以设施经济作物主导型农户采用为主，而集水技术的采用以经济林木主导型农户为主，采用率达 41.18%；家禽牲畜主导型农户对沼气应用技术的采用率最高，达到 85.71%；对于秸秆资源化处理技术，设施经济作物主导型农户较多采用秸秆还田技术，而粮食作物主导型农户较多进行饲料化处理；此外，由于退耕还林工程的实施，农户对于农林牧业固碳增汇技术的采用率也处于较高水平。总的来看，农户对不同类型低碳农业技术的采用程度由高到低依次为农林牧业固碳增汇技术 > 秸秆资源化处理技术 > 沼气应用技术 > 病虫害物理防控技术 > 旱区节水灌溉技术 > 保护性耕作技术 > 测土配方施肥技术。

（2）低碳农业技术的采用偏好。如表 3 所示，不同类型农户对于低碳农业技术的偏好程度也不同，其中，设施经济作物主导型农户对低碳农业技术具有较高偏好程度，7 种低碳农业技术中有 5 种其采用率均占到最高，这主要是因为设施经济作物种植属于资本密集型投入生产项目，具有较高的技术依赖程度；粮食作物主导型农户主要偏好于秸秆饲料化处理技术；经济林木主导型农户主要偏好于旱区集水灌溉技术；家禽牲畜主导型农户主要偏好于沼气应用技术。从技术属性角度来看，如表 4 所示，粮食作物主导型农户与经济林木主导型农户更多在乎技术的投资成本，偏好于低廉性低碳农业技术；设施经济作物主导型农户与家禽牲畜主导型农户更重视技术的使用效果，偏好于高效性低碳农业技术。

表3 不同类型农户低碳农业技术采用率

类型	病虫害物理防控技术		旱区节水灌溉技术				测土配方施肥技术		保护性耕作技术	
			节水		集水					
	比例/%	户数/户	比例/%	户数/户	比例/%	户数/户	比例/%	户数/户	比例/%	户数/户
粮食作物主导型	5	5.68	4	4.55	9	10.23	4	4.55	14	15.91
设施经济作物主导型	27	35.06	26	33.77	11	14.29	23	29.87	17	22.08
经济林木主导型	11	21.57	4	7.84	21	41.18	5	9.80	10	19.61
家禽牲畜主导型	9	21.43	2	4.76	8	19.05	1	2.38	4	9.52
总计	52	20.16	36	13.95	49	18.99	33	12.79	45	17.44

类型	秸秆资源化处理技术				沼气应用技术		农林牧业固碳增汇技术	
	还田		饲料化					
	比例/%	户数/户	比例/%	户数/户	比例/%	户数/户	比例/%	户数/户
粮食作物主导型	3	3.41	41	46.59	16	18.18	79	89.77
设施经济作物主导型	7	9.09	15	19.48	22	28.57	71	92.21
经济林木主导型	1	1.96	15	29.41	10	19.61	50	98.04
家禽牲畜主导型	0	0.00	14	33.33	36	85.71	39	92.86
总计	11	4.26	85	32.95	84	32.56	239	92.64

表4 不同类型农户低碳农业技术采用偏好

类型	投资成本		技术操作难易程度		使用后效果	
	户数/户	比例/%	户数/户	比例/%	户数/户	比例/%
粮食作物主导型	49	55.68	11	12.50	28	31.82
设施经济作物主导型	25	32.47	3	3.90	49	63.64
经济林木主导型	27	52.94	2	3.92	22	43.14
家禽牲畜主导型	14	33.33	3	7.14	25	59.52
总计	115	44.57	19	7.36	124	48.06

(3)农户对低碳农业技术的主观评价。如表5所示,农户对于低碳农业技术使用后的效果评价较多处于“好”的水平上,其中以设施经济作物主导型农户和经济林木主导型农户的“好评”最多,“好评”农户比例各占到80.52%、80.39%,总体“好评”农户比例占总户数的75.97%。同时,也有少数农户认为低碳农业技术使用后的效果并不是很理想,究其原因主要在于农户对技术预期效果过高、技术使用方法不恰当。绝大多数农户认为还是十分有必要采用低碳农业技术,共占到总体农户的91.47%,其中以设施经济作物主导型农户较多。整体上讲,农户对于低碳农业技术的需求度处于较高的水平上。

表5 不同类型农户对低碳农业技术主观评价

类型	采用效果						必要性(有)	
	好		一般		不好			
	户数/户	比例/%	户数/户	比例/%	户数/户	比例/%	户数/户	比例/%
粮食作物主导型	62	70.45	22	25.00	4	4.55	76	86.36
设施经济作物主导型	62	80.52	12	15.58	3	3.90	74	96.10
经济林木主导型	41	80.39	8	15.69	2	3.92	48	94.12
家禽牲畜主导型	31	73.81	8	19.05	3	7.14	38	90.48
总计	196	75.97	50	19.38	12	4.65	236	91.47

（4）农户后续采用意愿与采用预期。通过对不同农业生产项目农户后续采用低碳农业技术意愿的进一步分析，发现农户普遍具有较高的积极性，对于占总样体 93.72% 的生产项目，农户愿意继续采用低碳农业技术，采用意愿程度由高到低依次为经济林木主导型农户 > 家禽牲畜主导型农户 > 设施经济作物主导型农户 > 粮食作物主导型农户，这也从侧面反映出农户对技术的需求度较高。采用预期是影响农户采用意愿的重要因素，它是指农户基于自身所处环境的主观认知来判断群体作出不同决策的比例。在本次调研中，问卷通过“如果政府进行低碳农业技术推广，您感觉本村会有多少人采用该类技术？”的问题来估计农户的技术采用预期。如表 6 所示，73.64% 的农户认为大部分农户将会采用该类技术，采用预期比例处于较高的水平上。

表 6　农户后续采用意愿与采用预期

类型	采用预期						采用意愿（愿意）	
	大部分		一半		少部分			
	户数/户	比例/%	户数/户	比例/%	户数/户	比例/%	项目/个	比例/%
粮食作物主导型	60	68.18	19	21.59	9	10.23	136	89.47
设施经济作物主导型	67	87.01	4	5.19	6	7.79	105	93.75
经济林木主导型	35	68.63	9	17.65	7	13.73	117	97.50
家禽牲畜主导型	28	66.67	7	16.67	7	16.67	90	95.74
总计	190	73.64	39	15.12	29	11.24	448	93.72

综上所述，由于不同类型农户经营的农业项目存在一定差异，这使得同一类农户群体对某类低碳农业技术形成一定偏好，采用程度较为集中，因而导致不同类型农户技术采用的决策行为产生一定差异。同时，农户采用低碳农业技术后，对于技术使用效果会形成一定的主观评价，并由此对该类技术采用的必要性形成主观认知，进而影响其后续低碳农业技术的采用意愿。因此，影响农户低碳农业技术后续采用意愿的因素产生明显层次性，一层源于农户个体层面主观特征的差异，而另一层源于农户群体层面农业生产项目的差异，样本统计描述结论符合前文理论分析。为了深入挖掘影响农户低碳农业技术后续采用意愿的因素，本研究将进一步构建计量模型进行实证分析。

（四）计量模型构建

由于同一类型农户因受相同群体环境等因素的影响而具有极大的相似性，这使得农户低碳农业技术后续采用意愿的影响因素产生明显层次性，观测数据在单位上也产生一定的嵌套关系，具有分层结构特点的数据需要采用多层线性模型进行分析[25]。该模型常用来估计组内和组间变量的关系以及跨水平的交互作用，可以很好地区分组内效应和组间效应，揭示群体和个体间的关系以及两者对被解释变量的影响。基于本研究理论分析，将农户对低碳农业技术后续采用意愿的变异分为农业生产项目层面的差异和农户个体层面的差异，其中农业生产项目的观测数据嵌套于农户观测数据内，农业项目代表数据结构的第一层，农户代表数据结构的第二层，进而采用多层线性模型来分析农业项目层面和农户层面因素对农户低碳农业技术后续采用意愿的影响效应。需要说明的是，通常来讲个体层特征的观测应嵌套于群体层，本研究主要考虑由农户经营农业项目的差异来界定农户群体，而单个经营主体可经营多项农业生产项目，因而农户个体可能隶属于多个群体，面临多种群体环境而作出不同的决策，因此，本研究界定的层级关系为农业生产项目的特征观测嵌套于农户个体层，而非农户个体水平特征嵌套于农户群体。此外，由于被解释变量为农户低碳农业技术的后续采用意愿，其属于分类变量，故本文选择多层 Logistic 回归模型进行分析。模型构建如下：

1. 零模型

该模型第一层和第二层都没有解释变量,只是将被解释变量的总方差进行层次分解,并通过计算组间相关系数来判断组间差异是否对被解释变量产生影响。零模型表达式如下:

第一层(农业项目层):

$$\text{Prob}(\text{Willingness}_{ij}=1)=\varphi_{ij} \tag{1}$$

$$\ln[\varphi_{ij}/(1-\varphi_{ij})]=y_{ij} \tag{2}$$

$$y_{ij}=\beta_{0j}+\varepsilon_{ij} \tag{3}$$

第二层(农户层):

$$\beta_{0j}=\gamma_{00}+\mu_{0j} \tag{4}$$

式中,Willingness_{ij}表示第 j 个农户第 i 个项目上农户后续技术采用意愿,数值 1 代表"愿意",i、j 取值为 1,2,3,…;φ_{ij}表示农户愿意采用低碳农业技术发生的概率;y_{ij}表示"愿意采用"与"不愿意采用"的发生比对数值;β_{0j}表示第 j 个农户后续技术采用意愿的均值;γ_{00}表示所有项目上农户后续技术采用意愿的均值;ε_{ij}和μ_{0j}表示每层的随机效应项。

2. 完整模型

该模型各层融入了解释变量,旨在分析组内与组间解释变量对被解释变量的影响,弥补了传统分析方法中仅单一分析个体差异或群组差异的缺陷,同时该模型不仅包括了解释变量的主效应,还考虑了解释变量间跨层交互作用效应。完整模型表达式如下:

第一层(农业项目层):

$$\text{Prob}(\text{Willingness}_{ij}=1)=\varphi_{ij} \tag{5}$$

$$\ln[\varphi_{ij}/(1-\varphi_{ij})]=y_{ij} \tag{6}$$

$$y_{ij}=\beta_{0j}+\sum_{k=1}^{k}\beta_{kij}x_{kij}+\varepsilon_{ij} \tag{7}$$

第二层(农户层):

$$\beta_{0j}=\gamma_{00}+\sum_{m=1}^{m}\gamma_{0mj}z_{0mj}+\mu_{0j} \tag{8}$$

$$\beta_{kij}=\gamma_{ki0}+\sum_{n=1}^{n}\gamma_{nkij}z_{nkij}+\mu_{kij} \tag{9}$$

式中,β_{kij}表示农业项目层解释变量对被解释变量的影响系数;x_{kij}表示农业项目层解释变量;γ_{0mj}表示农户层解释变量对被解释变量的影响系数;z_{0mj}表示农户层解释变量;γ_{ki0}表示农户层解释变量对被解释变量影响系数的总体均值;γ_{nkij}表示农户层解释变量对农业项目层解释变量的影响系数,z_{nkij}表示农户层解释变量;μ_{kij}表示随机效应项;n、k、m 均取值为 1,2,3,…;其余如零模型所示。

四、农户低碳农业技术后续采用意愿的实证结果分析

(一)零模型估计结果与分析

本文运用 SPASS20.0 及 HLM6.08 软件,采用极大似然估计法对多层 Logistic 回归模型进行估计。空模型估计目的在于评估组间异质性,输出结果如表 7 所示。全体农户组间差异系数为 4.352,且十分显著,组间相关系数为 0.57,表明农户低碳农业技术后续采用意愿的差异 57% 源于农户自身的差异,43% 源于农户经营项目的差异,所以把农业项目层和农户层解释变量纳入模型进行回归分析,将有助于提高模型参数估计的精确性。此外,不同水平层面对各类农户低碳农业技术后续采用意愿差异的影响也各不相同,其中,以粮食作物主导型农户组间相关系数最高,农户自身的差异对低碳农业技术后续采用意愿的影响占到 74.1%,因此,在完整模型中将不同类型农户加以区分进行估计有助于后续比较分析,完整模型估计结果如表 8 所示。

表 7　零模型估计结果

类型	参数		
	组间差异系数	组内差异系数	组间相关系数
粮食作物主导型农户	9.398***	3.287	0.741
设施经济作物主导型农户	5.615***	3.287	0.631
经济林木主导型农户	1.855***	3.287	0.361
家禽牲畜主导型农户	3.741***	3.287	0.532
全体农户	4.352***	3.287	0.570

注：对于 Logistic 连接函数，组内差异系数被标准化为 3.287[11]；*** 表示 1% 的显著性水平。

（二）完整模型估计结果与分析

如表 8 所示，农业项目和农户两个层面因素均对农户低碳农业技术后续采用意愿产生重要影响，且不同类型农户后续采用意愿的影响因素存在一定差异。

表 8　完整模型估计结果

变量名称		粮食作物主导型农户	设施经济作物主导型农户	经济林木主导型农户	家禽牲畜主导型农户	全体农户
		系数	系数	系数	系数	系数
截距		−2.041	−13.806***	−2.969*	−5.447**	−2.739
项目层面：						
地理特征	土地类型	−0.292***	1.126***	0.292***	−0.851***	−0.148***
	土地面积	0.032***	0.021***	0.000***	0.010***	0.003***
制度环境	政府是否进行了技术推广	0.408***	−0.384	0.356	0.952***	0.208***
	项目是否配备了技术指导员	1.137***	−0.216	−0.278	1.908**	0.033***
要素投入	项目资金投入	−0.000***	0.000***	−0.000***	0.000***	−0.000***
	项目劳动力投入	−0.517	0.487*	0.435*	−0.097	0.134
	低碳技术投入（截距）	−0.846***	2.160***	1.412***	−0.048***	0.060***
	低碳技术投入（斜率）					
	年龄	0.002*	0.005**	−0.007**	0.002**	−0.002**
	受教育程度	−0.064**	−0.003***	0.025**	−0.026***	−0.044***
	是否兼业	−0.013*	−0.167**	−0.069**	0.076*	−0.026**
	是否有必要采用	0.524**	−2.210***	−0.915**	0.250***	−0.226***
	技术采用效果评价	0.059***	0.040***	0.008**	0.065***	0.040**
	技术采用预期	0.190**	0.109**	0.003***	0.114***	0.016***
	技术采用偏好	0.003**	−0.174***	−0.044***	−0.024**	0.033**
经济效益	投资周期	−0.054***	0.086***	0.017***	−0.026***	−0.002***
	净产值	0.000***	0.000***	0.000***	0.000***	0.000***
农户层面：						
个体特征	年龄	0.048	−0.069	−0.013	0.112	−0.004
	受教育程度	0.855**	−0.235	0.061	0.429	0.486***
	是否兼业	−0.155	1.625***	−0.109	−0.387	−0.199
行为意向	是否有必要采用	0.150	5.744***	10.218***	−1.083	1.881***
	技术采用效果评价	1.998***	1.943***	0.055***	2.805***	1.920***
	技术采用预期	0.889*	2.069***	0.001	0.202*	0.988***
	技术采用偏好	−1.276***	1.247***	−0.007	1.293***	−0.162
组间变异		8.764***	3.181***	1.036***	2.289***	7.379***
组间相关系数		0.727	0.492	0.240	0.411	0.692

注：*、**、*** 分别表示 10%、5%、1% 的显著性水平；模型输出结果不仅包括了解释变量的主效应，还考虑了解释变量间跨层交互作用效应。

1.农业项目层面

(1)地理特征。项目所处的地理特征对农户低碳农业技术后续采用意愿具有显著影响,且对于不同类型农户影响效果不同。从整体上来讲,项目处于地理位置较差、种养殖规模较大的农户其低碳农业技术后续采用意愿比较强烈,但区分农户类型来看实则不然。其中,项目处于地理位置较为优越的设施经济作物主导型农户、经济林木主导型农户后续采用意愿更为强烈,主要原因在于设施经济作物与经济林木生产项目属于调研区安塞县特色产业,当地政府出台了诸多扶持政策,较好地激发了农户的生产积极性,且处于地理位置优越的项目更易形成规模化,从而增强了农户对农业技术的需求意愿。

(2)制度环境。制度环境对粮食作物主导型农户、家禽牲畜主导型农户低碳农业技术后续采用意愿具有显著影响;政府针对项目进行技术推广、配备技术员等措施明显增强农户低碳农业技术后续采用意愿。走访调研中发现,由于当地政府给予了设施经济作物主导型农户、经济林木主导型农户过多的技术推广,部分农户已产生“推销式”厌烦情绪,目前的制度环境已削弱了该类农户技术采用意愿,急需注重后续技术引导方式的转变。而相对于政策扶持力度较弱的粮食作物主导型农户、家禽牲畜主导型农户,积极地进行技术推广和技术员亲临指导将有助于增强农户低碳农业技术采用意愿。整体上来讲,营造科学合理的制度环境有助于低碳农业技术的推广使用。

(3)要素投入。资金要素投入强度对所有农户低碳农业技术后续采用意愿具有显著影响,但影响作用较弱。对于粮食作物主导型和经济林木主导型农户,项目资金要素投入强度较小的农户后续技术采用意愿强烈,原因在于这两类农户较多关注技术投资成本(表4),当项目资金投入强度达到一定程度时,继续增大资金投入将会削弱农户的技术采用意愿,而更在乎技术使用效果的设施经济作物主导型农户和家禽牲畜主导型农户的表现则与其他两类相反。

劳动力要素投入强度仅对设施经济作物主导型农户、经济林木主导型农户的低碳农业技术后续采用意愿具有显著影响,劳动力投入数量越多,农户越渴望通过技术降低高昂的劳动成本,低碳农业技术后续采用意愿自然越高。但从全体农户来讲,劳动力要素投入强度对农户的低碳农业技术后续采用意愿影响并不显著。

技术要素投入强度对所有农户的低碳农业技术后续采用意愿具有显著影响,且对于不同类型农户影响效果不同。对全体农户来讲,技术要素投入强度越大的农户其低碳农业技术后续采用意愿越强,但区分农户类型后,粮食作物主导型农户与家禽牲畜主导型农户却表现出相反的现象,主要原因在于相比设施经济作物和经济林木种植项目,粮食作物种植与家禽牲畜养殖的技术依赖程度较低,当技术要素投入强度达到农户需求程度时,继续增加技术投入将会削弱农户的技术采用意愿。

技术要素投入强度的深层次逻辑便是农户技术采用的行为。依据TPB理论检验农户层面解释变量对农业技术采用程度(技术要素投入强度)的跨层交互作用效应可知(结果见表8),农户个体特征和行为意向均通过了显著性检验,这说明农户层面解释变量会加强或弱化农业项目层面技术要素投入强度对农户后续技术采用意愿的影响效果,且作用效果在不同类型农户之间表现也不一样。其中,粮食作物主导型农户个体特征中的年龄及其行为意向,共同弱化了项目技术要素投入强度与农户技术采用意愿之间的负向关联,而个体特征中的教育程度、兼业情况强化了两者之间的负向关联;设施经济作物主导型农户个体特征中的年龄与行为意向中的技术评价、采用预期,共同强化了项目技术要素投入强度与农户技术采用意愿之间的正向关联,其余要素则弱化了两者之间的正向关联;经济林木主导型农户个人特征中的受教育程度与行为意向中的技术评价、采用预期,共同强化了项目技术要素投入强度与农户技术采用意愿之间的正向关联,其余要素则弱化

了两者之间的正向关联；家禽牲畜主导型农户个人特征中的受教育程度与行为意向中的技术偏好，共同强化了项目技术要素投入强度与农户技术采用意愿之间的负向关联，其余要素则弱化了两者之间的负向关联。对全体农户来讲，农户个人特征的差异从整体上弱化了项目技术要素投入强度与农户技术采用意愿之间的正向关联，而农户的行为意向则强化了两者之间的正向关联。

（4）经济效益。项目的经济效益对所有农户低碳农业技术后续采用意愿具有显著的影响。从整体上来讲，对于投资周期较长的项目，由于增加了项目效益的未知风险性，导致农户低碳农业技术后续采用意愿较低。但区分农户类型来看，设施经济作物主导型、经济林木主导型农户却对投资周期较长的项目具有强烈的技术采用意愿，表明该类农户在政府积极引导帮扶下，已改变以往消极处理未知风险的态度，而是采取一系列的技术保障措施来积极应对风险。项目净收益对所有农户低碳农业技术后续采用意愿具有显著影响，表明农户对净收益较高的项目表现出强烈的技术后续采用意愿，从而确保项目实现利益最大化。

2. *农户层面*

（1）个体特征。从整体上来看，农户的个体特征对其低碳农业技术后续采用意愿影响较弱。个体特征中的受教育程度、兼业情况分别仅对粮食作物主导型农户、设施经济作物主导型农户产生显著的正向影响作用；而全体农户中仅农户的受教育程度对其低碳农业技术后续采用意愿影响显著，文化知识水平越高，农户低碳农业技术后续采用意愿越强烈。

（2）行为意向。农户的行为意向对其低碳农业技术后续采用意愿影响较强，且行为态度、主观规范和知觉行为控制是决定其行为意向的 3 类重要因素。在农户的行为态度中，技术采用的必要性对设施经济作物主导型和经济林木主导型农户后续技术采用意愿具有显著影响，且作用强烈，整体上来讲，认为有必要进行技术采用的农户具有较高的技术采用意愿；农户对技术使用效果的评价显著影响其后续技术采用意愿，且影响作用十分强烈，所有农户中，对于低碳农业技术使用后的效果评价给予“好评”的农户，其低碳农业技术后续采用意愿越强；农户主观规范指村民技术采用行为对其技术采用意愿的影响，即技术采用预期，预期发生比例越高，农户感知到的群体压力越大，后续技术采用意愿就越高；代表农户知觉行为控制的技术采用偏好对粮食作物主导型农户、设施经济作物主导型农户及家禽牲畜主导型农户的低碳农业技术后续采用意愿具有显著影响，且存在一定差异，粮食作物主导型农户对低廉性农业技术表现出较高的采用意愿，而设施经济作物主导型和家禽牲畜主导型农户对高效性农业技术具有更强烈的采用意愿。

五、农户低碳农业技术采用意愿与低碳农业技术推广

本研究以计划行为理论为基础，利用陕西省安塞县调研获取的农户面板数据，采用多层 Logistic 回归模型估计了农业项目和农户两个层面因素对农户低碳农业技术后续采用意愿的影响，证明了不同类型农户低碳农业技术后续采用意愿影响因素的差异性。研究表明，不同类型农户当前对于低碳农业技术的采用程度、偏好程度存在一定差异，但全体农户对于低碳农业技术使用后的效果评价较多处于“好”的水平上，且农户对于低碳农业技术的需求度、后续采用意愿均处于较高的水平上；农业项目和农户两个层面因素均对农户低碳农业技术后续采用意愿产生重要影响，农业项目层面影响因素包括地理特征、制度环境、要素投入、经济效益，农户层面影响因素包括个人特征、行为意向，其中地理特征、资金和技术要素投入、经济效益、行为意向对农户低碳农业技术后续采用意愿影响作用较强；不同类型农户低碳农业技术后续采用意愿的影响因素及其作用效果存在一定差异，粮食作物主导型农户受地理特征、制度环境、资金和技术要素投入、经济效益、个人特征、行为意向因素的影响显著，设施经济作物主导型农户受地理特征、要素投入、经济效益、个人特

征、行为意向因素的影响显著,经济林木主导型农户受地理特征、要素投入、经济效益、行为意向因素的影响显著,家禽牲畜主导型农户受地理特征、制度环境、资金和技术要素投入、经济效益、行为意向因素的影响显著;农户技术采用强度受农户个体特征和行为意向的影响显著,且作用效果在不同类型农户之间存在显著差异。

基于以上结论,建议相关部门依据不同类型农户的技术采用偏好和农业项目的生产经营特征,转变低碳农业技术推广方式,实行精准性技术推广方式方法,满足农户多样化的技术需求;通过建立技术评价指标体系,考核不同技术的生态效益与经济效益,筛选出满足当地实际情况的低碳农业技术,提升低碳农业技术的适用性;加大低廉高效性低碳农业技术的推广使用,不断提升农户技术使用效果的满意度;制定相关政策进行积极引导、宣传和教育,提升农户低碳生产意识,进而约制其自身行为规范,进一步增强农户对低碳农业技术采用的自觉性。

参考文献:

[1]国家发展和改革委员会. 中国应对气候变化的政策与行动——2010 年度报告[J]. 财经界,2011(2):25 - 33.

[2]张卫红,李玉娥,秦晓波,等. 应用生命周期法评价我国测土配方施肥项目减排效果[J]. 农业环境科学学报,2015(7):1422 - 1428.

[3]侯博,应瑞瑶. 分散农户低碳生产行为决策研究——基于 TPB 和 SEM 的实证分析[J]. 农业技术经济,2015(2):4 - 13.

[4]刘持博,韩晓燕,吕杰. 半干旱地区农民采纳节水灌溉技术意愿及其影响因素分析——以阜新蒙古族自治 134 个农户为例[J]. 沈阳农业大学学报(社会科学版), 2014(3):257 - 261.

[5]张兴杰,罗天莹,张开云. 欠发达地区农民的科技需求与服务策略研究[J]. 中国社会科学院研究生院学报,2006(6):36 - 42.

[6]MARIANO M J, VILLANO R, FLEMING E. Factors influencing farmers' adoption of modern rice technologies and good management practices in the Philippines[J]. Agricultural Systems, 2012,110(C):41 - 53.

[7]李宪宝. 异质性农业经营主体技术采纳行为差异化研究[J]. 华南农业大学学报(社会科学版), 2017,16(3):87 - 94.

[8]何可,张俊飚,丰军辉. 自我雇佣型农村妇女的农业技术需求意愿及其影响因素分析——以农业废弃物基质产业技术为例[J]. 中国农村观察,2014(4):84 - 94.

[9]朱玉春,王蕾. 不同收入水平农户对农田水利设施的需求意愿分析——基于陕西、河南调查数据的验证[J]. 中国农村经济,2014(1):76 - 86.

[10]祝华军,田志宏. 稻农采用低碳技术措施意愿分析——基于南方水稻产区的调查[J]. 农业技术经济,2013(3):62 - 71.

[11]满明俊,周民良,李同昇. 农户采用不同属性技术行为的差异分析——基于陕西、甘肃、宁夏的调查[J]. 中国农村经济,2010(2):68 - 78.

[12]霍瑜,张俊飚,陈祺琪,等. 土地规模与农业技术利用意愿研究——以湖北省两型农业为例[J]. 农业技术经济,2016(7):19 - 28.

[13]王奇,陈海丹,王会. 农户有机农业技术采用意愿的影响因素分析——基于北京市和山东省 250 户农户的调查[J]. 农村经济,2012(2):99 - 103.

[14]喻永红,张巨勇. 农户采用水稻 IPM 技术的意愿及其影响因素——基于湖北省的调查数据[J]. 中国农村经济, 2009(11):77 - 86.

[15]王琛,吴敬学. 农户粮食种植技术选择意愿影响研究[J]. 华南农业大学学报(社会科学版),2016,15(1):45 - 53.

[16]PAYNE J, FERNANDEZ-CORNEJO J, DABERKOW S. Factors affecting the likelihood of corn rootworm Bt seed adoption[J]. Agbioforum, 2003, 6(1):657 - 657.

[17]陈儒,邓悦,姜志德,等. 中国退耕还林还草地区复耕可能性及其影响因素的比较分析[J]. 资源科学,2016(11):2013 - 2023.
[18]DANG H L, LI E, NUBERG I, et al. Understanding farmers' adaptation intention to climate change: A structural equation modelling study in the Mekong Delta, Vietnam[J]. Environmental Science & Policy,2014,41(8):11 - 22.
[19]FISHBEIN M, AJZEN I. Belief,attitude,intention,and behavior: An introduction to theory and research[J]. Philosophy & Rhetoric,1975,41(4):842 - 844.
[20]AJZEN I, MADDEN T J. Prediction of goal-directed behavior: Attitudes, intentions, and perceived behavioral control[J]. Journal of Experimental Social Psychology,1986,22(5):453 - 474.
[21]陈儒,邓悦,姜志德. 农业生产项目的综合碳效应分析与核算研究——基于陕西安塞的农户调查数据[J]. 华中农业大学学报(社会科学版),2017(3):23 - 34.
[22]邓悦,陈儒,徐婵娟,等. 低碳农业技术梳理与体系构建[J]. 生态经济,2017(8):98 - 104,123.
[23]欧阳进良,宋春梅,宇振荣,等. 黄淮海平原农区不同类型农户的土地利用方式选择及其环境影响——以河北省曲周县为例[J]. 自然资源学报,2004(1):1 - 11.
[24]李赞红,阎建忠,花晓波,等. 不同类型农户撂荒及其影响因素研究——以重庆市 12 个典型村为例[J]. 地理研究, 2014(4):721 - 734.
[25]杨菊华. 多层模型在社会科学领域的应用[J]. 中国人口科学, 2006(3):44 - 51.

Study on Farmers' Willingness to Subsequently Adopt Low-Carbon Agricultural Technologies

CHEN Ru, JIANG Zhi-de

(*School of Economics and Management*, *Northwest Agriculture & Forestry University*, *Yangling*, 712100, *China*)

Abstract: Based on the TPB theory and used panel data obtained from the investigation on farmer households, this paper analyzed the current status of farmers' adoption of low-carbon agricultural technologies, and an empirical analysis was carried out using the method of Hierarchical Logistic Regression Model on the influence of agricultural projects level factors and farmers level factors on farmers' willingness to subsequently adopt low-carbon agricultural technologies. The study found: farmers had a high level of evaluation on the use effect of low-carbon agricultural technologies, technical requirements and subsequent adoption willingness. Differences existed in the adoption degree and preference of low carbon agricultural technologies among different types of farmers. Both agricultural projects level factors and farmers' level factors had a significant influence on farmers' willingness to subsequently adopt low-carbon agricultural technologies, and the effect was different. The agricultural projects' geographical features, economic benefits, investment intensity of capital and technical factors, and the behavioral intentions of farmers had a strong impact on farmers' willingness. The intensity of farmers' technology adoption was significantly affected by individual characteristics and behavioral intentions, and the effect was different in different types of farmers.

Key Words: low-carbon agricultural technologies; willingness on adoption; agricultural technology extension; TPB theory