

# 奶农采用精准奶业技术行为的影响因素分析

任秋鸿<sup>1</sup>, 彭 华<sup>1\*</sup>, 董晓霞<sup>1</sup>, 杨红杰<sup>2</sup>, 张利宇<sup>2</sup>, 李立望<sup>1</sup>

(1. 中国农业科学院农业信息研究所, 北京 100081; 2. 全国畜牧总站统计信息处, 北京 100125)

**摘 要:** 为掌握精准奶业技术在中国的应用现状及其关键影响因素, 该研究调研了华北产区 345 个奶农对国际上水平较高的 4 种精准奶业技术的采用情况, 结果表明自动脱杯、自动识别、产奶量自动记录和自动发情监测 4 种精准奶业技术的采用率分别为 64.9%、57.7%、56.2%和 37.7%。而未采用任何一种技术的 88 个奶农的调研结果显示, 技术前期投资成本太高, 无法承担费用 (占比 71.9%) 是未采用这些技术的最重要的原因, 但有 26 个奶农表示接下来打算使用。调研的 11 种因素中, 有 7 种因素至少对 1 种技术的采用产生显著影响。其中 3 种因素即奶农受教育程度、养殖规模和日均产奶量对 4 种技术具有显著正向促进作用, 其他 4 种因素至少对 2 种技术的采用产生显著正向影响。4 种技术中, 自动脱杯受养殖规模、政府补贴、技术培训的影响最小。自动识别受收入满意程度和教育程度的影响作用最大。产奶量自动记录受日均产奶量、政府补贴的影响最大, 不受技术培训的影响。自动发情监测受教育程度、日均产奶量的影响最低, 受养殖规模和技术培训的影响最高, 不受政府补贴的影响。影响因素分析进一步为政府和企业针对 4 种技术制定推广应用措施提供依据, 如针对自动脱杯技术, 由于养殖规模对其影响最小, 应将推广重点放在小规模养殖场上。而自动发情监测技术的推广重点应放在大规模养殖场上, 并利用技术培训提高奶农认知水平和数据管理技能。

**关键词:** 农业自动化; 奶农; 精准奶业技术; 应用现状; 影响因素; 华北产区

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2022.11.026

中图分类号: S8-9

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2022)-11-0231-08

任秋鸿, 彭华, 董晓霞, 等. 奶农采用精准奶业技术行为的影响因素分析[J]. 农业工程学报, 2022, 38(11): 231-238.

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2022.11.026 <http://www.tcsae.org>

Ren Qiuhong, Peng Hua, Dong Xiaoxia, et al. Factors influencing farmers' adoption of precision dairy technology[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2022, 38(11): 231-238. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2022.11.026 <http://www.tcsae.org>

## 0 引 言

近年来, 中国奶业生产方式发生了重大改变, 奶牛养殖规模化水平不断提高, 农业农村部统计数据 displays, 2020 年存栏 100 头以上规模养殖比例达到 67.0%, 比 2008 年提高 47.7 个百分点。随着养殖规模的不断扩大, 奶农管理养殖场的难度不断加大, 对劳动力的需求也越来越高<sup>[1]</sup>。自动化和传感器系统也就是精准技术 (Precision Technology) 的使用, 为改善养殖场管理和减少劳动力需求提供了重要的工具<sup>[2]</sup>。

国外已有众多学者对精准奶业技术应用现状及其影响因素进行了研究。有 7 个国家的研究学者对精准奶业技术应用现状进行了调研<sup>[1-7]</sup>, 但以北美、欧洲、大洋洲的发达国家为主, 发展中国家仅有巴西, 统计分析发现自动脱杯技术、自动发情监测技术、产奶量自动记录技术、自动识别技术是这些国家中采用比例相对较高的 4 种技术。在影响因素研究方面, 学者主要从内部因素 (奶农个体特征因素和养殖场生产经营特征因素) 和外部环

境特征因素等进行了较为深入的探索。其中奶农个体特征因素包括年龄、受教育程度、养殖经验等<sup>[5,7-9]</sup>; 如 Neves 等<sup>[5]</sup>得出随着奶农受教育水平的提高, 自动发情监测技术采用比例也越高。养殖场生产经营特征因素包括养殖规模、产奶量水平、人牛比等<sup>[1,7,9]</sup>, 如 Gargiulo 等<sup>[1]</sup>研究发现养殖规模与精准奶业技术采用具有显著正相关关系, 即养殖规模越大, 技术采用率越高。外部环境特征因素包括技术本身特性、技术培训、技术获取途径等<sup>[3,10-11]</sup>, 如 Borchers 等<sup>[3]</sup>调研发现技术简单易用性是奶农投资精准奶业技术时考虑最多的因素。但已有国外研究鲜见同时涵盖三类因素 (奶农个体特征因素、养殖场生产经营特征因素和外部环境因素) 来探讨奶农采用精准奶业技术行为, 研究较为片面。

由于精准奶业技术在中国兴起的时间不长, 国内学者更多关注技术应用机理和技术研发等领域<sup>[12-15]</sup>。如王超丽等<sup>[14]</sup>研究发现与人工观察相比, 自动发情监测系统的发情揭发率和准确率更高, 性能稳定, 可以提高奶牛受胎率, 为养殖场带来更大的经济效益。石芳权等<sup>[15]</sup>详细阐述了奶牛自动识别、自动发情监测、精准饲喂等精准奶业技术的应用机理。现阶段鲜有学者对精准奶业技术应用现状及其影响因素开展研究。那么, 当前中国精准奶业技术的采用现状如何? 可能影响奶农采用精准奶业技术行为的因素有哪些? 这些问题值得深入研究。

综上所述: 1) 国内学者对精准奶业技术采用现状及

收稿日期: 2022-02-10 修订日期: 2022-05-20

基金项目: 中国农业科学院农业信息研究所 2022 年度科技创新工程项目 (CAAS-ASTIP-2016-AII); 农业农村部政府购买服务项目 “生鲜乳质量安全监测分析等” (A170202)

作者简介: 任秋鸿, 研究方向为农业经济与政策。Email: 578455637@qq.com

\*通信作者: 彭华, 副研究员, 研究方向为畜牧业经济。Email: penghua@caas.cn

采用技术行为影响因素研究相对较少, 尤其缺乏实证研究; 2) 对奶农采用技术行为影响因素考虑不够全面, 特别是对内部和外部因素共同影响关系考察不足。基于此, 该文利用华北产区 345 份奶农调查数据, 分析 4 种精准奶业技术在中国的采用现状及其关键影响因素, 并提出针对性的建议, 拟为相关政府部门或企业制定技术推广政策或措施提供参考依据。

## 1 理论基础与研究假设

### 1.1 理论基础

#### 1.1.1 精准奶业技术的概念界定

精准奶业是在精准农业的基础上发展而来, Spilke 等<sup>[16]</sup>首次提出精准奶业, 指基于疾病的早期监测, 利用传感器等技术对个体动物进行连续实时监控并记录数据, 奶农能够尽早采取干预措施, 以期促进可持续生产高质量牛奶和高水平动物福利。随着技术的不断发展, Eastwood 等<sup>[17]</sup>提出了更为宽泛的概念, 不再只局限于疾病监测, 将精准奶业定义为“利用信息和通信技术实时测量个体奶牛的生理、行为和生产参数, 以改善管理策略, 优化奶牛场的经济、社会和环境绩效”。而精准奶业的实现主要依靠精准奶业技术 (Precision Dairy Technology) 的采用。近年来, 随着信息通信技术的快速发展, 衍生出了多种精准奶业技术。按照应用目的的不同, 精准奶业技术划分两种类型<sup>[2]</sup>: 一种是节省劳动力技术包括自动脱杯、自动分群门、自动乳房清洗技术等, 另一种是数据采集技术包括产奶量自动记录、自动识别、自动发情监测技术等。通过这些技术的使用, 可以实现对个体奶牛的生理、行为和生产参数的实时监控, 进而实现养殖场管理从群体到个体的转变, 达到最大限度地发挥个体奶牛的潜力, 尽早发现疾病, 减少药物使用的目的<sup>[17]</sup>。

#### 1.1.2 奶农采用精准奶业技术行为的理论基础

学术界关于农户采用技术行为研究的理论众多, 美国农业经济学家舒尔茨提出的农户行为理论, 认为农户是理性的, 在生产过程中总是追求利润最大化, 但他们对技术的采用行为会受到内部驱动因素和外部驱动因素的制约和限制<sup>[18]</sup>。其中内部驱动因素是决定农户技术采用的根本因素 (如家庭收入越高的农户, 农户技术采用意愿就越强), 主要包括年龄、受教育程度、家庭收入、经营规模等, 而外部因素是农户技术采用的具体依据 (如政策环境不同会影响技术投资成本, 这可视作农户技术采用的具体依据之一), 主要包括经济发展水平、政策环境、农户间相互作用等方面<sup>[19]</sup>。Rogers 的创新扩散理论也提出农业技术创新扩散是一种农业新技术、新发明, 从创新源头开始, 通过某种渠道向周围传播, 并被广大农户、涉农企业接采纳、使用的过程<sup>[20]</sup>。在农业技术创新扩散过程中会受到一系列内外部因素的制约和影响, 如自然资源、政治环境、经济环境等<sup>[21]</sup>。在本研究中, 精准奶业技术在养殖场的应用可以被认为是技术创新扩散过程, 奶农对其采用行为的影响因素研究也可以基于农户行为理论从内外部驱动因素进行分析。

### 1.2 研究假设

以农户行为理论和创新扩散理论为基础, 将影响奶农采用精准奶业技术行为的因素进行分类, 其中, 内部驱动因素包括奶农个体特征 (年龄、受教育程度、养殖年限、奶牛养殖收入满意度、与同行交流情况) 和养殖场生产经营特征 (养殖规模、日均产奶量、员工人数、贷款情况), 外部驱动因素包括外部环境特征 (技术信息获取途径数、技术培训参与次数、购买技术设备政府补贴)。

1) 个体特征。①年龄。随着农户年龄增加, 其对新事物接受、理解和运用的速度明显降低, 沿用传统养殖经验倾向性越强, 采用新技术的积极性将降低<sup>[22]</sup>; 但另一方面, 农户年龄越大, 受到自身体力渐弱的影响, 对劳动力节约型的技术需求越强<sup>[23]</sup>。因此, 本文预期奶农年龄对精准奶业技术采用的影响方向不确定。②受教育程度。受教育程度越高的农户, 收集、理解和掌握新技术的能力越强, 对其认知度越高, 采用的可能性越大<sup>[24]</sup>。因此, 本文预期受教育程度对奶农精准奶业技术采用有正向影响。③养殖年限。农户养殖年限越长, 从事养殖行业经验越丰富, 越容易判断新技术是否有利于养殖效益的提升, 从而越有可能采用新技术<sup>[25]</sup>, 但有研究发现农户养殖年限越长, 越倾向于传统经验养殖, 采用新技术的意愿越低<sup>[26]</sup>。因此, 本文预期养殖年限对奶农精准奶业技术采用的影响方向不确定。④奶牛养殖收入满意度。一般而言, 农户对农业生产收入满意度越高, 越重视农业生产经营, 更希望通过采用新技术提高生产效益<sup>[27]</sup>。因此, 本文预期奶牛养殖收入满意度对奶农精准奶业技术采用有正向影响。⑤同行交流。农户与同行交流越频繁, 获取技术相关信息成本越低, 采用新技术倾向性越强<sup>[4]</sup>。因此, 本文预期同行交流对奶农精准奶业技术采用有正向影响。

2) 生产经营特征。①养殖规模。养殖场规模越大, 越容易形成规模经济, 采用新技术养殖效益越高<sup>[1]</sup>; 但另一方面, 规模越大, 新技术失败会遭受更大损失, 采用新技术风险越高<sup>[28]</sup>。因此, 本文预期养殖规模对奶农精准奶业技术采用的影响方向不确定。②日均产奶量。产奶量是衡量奶牛养殖效益的重要指标, 产奶量越高, 奶牛养殖效益越好, 有更多可用资金购买新技术设备<sup>[9]</sup>。因此, 本文预期日均产奶量对奶农精准奶业技术采用有正向影响。③员工人数。养殖场员工人数越多, 意味着有更多可用劳动力, 农户对节约劳动力的新技术采用倾向就越低<sup>[29]</sup>。因此, 本文预期员工人数对奶农精准奶业技术采用有负向影响。④贷款情况。农户贷款越多, 获取贷款越容易, 有更多资金投入新技术, 技术采用率越高<sup>[30]</sup>。因此, 本文预期贷款情况对奶农精准奶业技术采用有正向影响。

3) 外部环境特征。①技术信息获取途径数。农户对新技术的获取途径越多, 信息渠道更广, 获取信息更容易, 采用新技术的可能性越大<sup>[25]</sup>。因此, 本文预期技术信息获取途径数对奶农精准奶业技术采用有正向影响。②技术培训。技术培训是提高农户对技术认知度的重要渠道, 对农户技术采用行为具有正向的激励作用<sup>[31]</sup>。因此, 本文预期技术培训对奶农精准奶业技术采用有正

向影响。③技术设备政府补贴。农户采用新技术需要一定的资金支持，政府出台相关技术补贴政策，会降低农户投资成本，提高农户新技术采用积极性<sup>[32]</sup>。因此，本文预期技术设备政府补贴对奶农精准奶业技术采用有正向影响。

基于以上理论分析和研究假设，得到图 1 所示的假设模型。

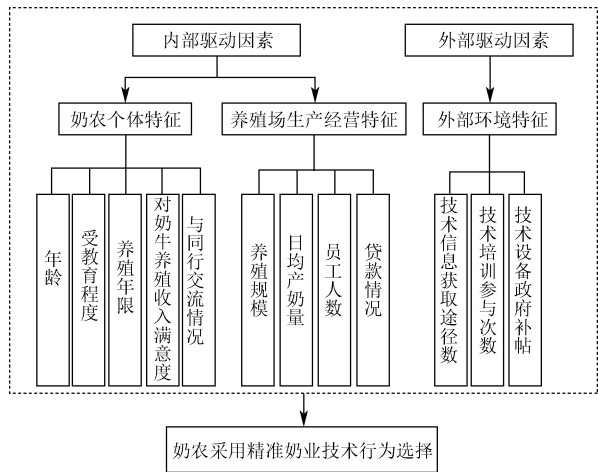


图 1 奶农采用精准奶业技术行为的影响因素假设模型  
Fig.1 Hypothesis model of influencing factors of farmers' behavior in adopting precision dairy technology

2 材料与方法

2.1 数据来源

本研究数据来源于课题组 2021 年 3—4 月对中国华

北产区（河北省、河南省、山东省、山西省）奶农开展的问卷调查。问卷基于已有研究<sup>[1-5]</sup>和前期预调研的结果进行设计，最终确定问卷内容包括：1）奶农个体特征情况，主要包括年龄、受教育程度、养殖年限、对当前奶牛养殖收入的满意度、与同行交流情况；2）养殖场生产经营特征情况，主要包括养殖规模、日均产奶量、员工人数和养殖场贷款情况；3）外部环境特征情况，主要包括技术信息获取途径、技术培训参与次数、是否获得政府设备购买补贴；4）精准奶业技术采用情况，选取国际上应用比例较高的 4 种精准奶业技术进行调研。5）未采用精准奶业技术原因，基于前期调研结果进行设计。此次调查共回收问卷 385 份，去除数据异常问卷，获得有效问卷 345 份，问卷有效率达 89.6%。

基于前文分析，本研究将影响奶农采用 4 种精准奶业技术行为的因素分为三大类共 12 个变量，并对这些变量的预期作用方向进行了假设。变量定义及赋值见表 1。

2.2 数据分析

应用 Stata15 软件对相关变量的频率分布及变量间的相关性进行分析。参照唐博文等<sup>[33]</sup>的研究，将采用 4 种精准奶业技术行为的二元选择变量作为因变量，将三类特征变量作为自变量，构建二元 Logit 模型对中国华北产区奶农采用 4 种精准奶业技术行为的影响因素进行实证分析。在进行实证分析前，为避免变量过多及变量间的多重共线性问题对模型的预测效果造成不良影响，首先利用逐步回归法筛选出关键性变量，然后利用 VIF 法对各个自变量进行多重共线性检验，并以方差膨胀因子 VIF 值等于 10 作为判断边界。

表 1 变量说明及赋值  
Table 1 Variable description and assignment

变量类型 Variable type	变量 Variables	符号 Symbols	定义及赋值 Definition and assignment	预期影响方向 Expected influence direction
因变量 Dependent variables	自动脱杯技术	$Y_1$	未采用=0；采用=1	-
	自动识别技术	$Y_2$	未采用=0；采用=1	-
	产奶量自动记录技术	$Y_3$	未采用=0；采用=1	-
	自动发情监测技术	$Y_4$	未采用=0；采用=1	-
自变量 The independent variables	年龄	$X_1$	<30 岁=1；30~45 岁=2；46~60 岁=3；>60 岁=4	+/-
	受教育程度	$X_2$	初中及以下=1；高中或中专=2；专科=3；本科及以上=4	+
	养殖年限	$X_3$	<5 年=1；5~10 年=2；11~15 年=3；>16 年=4	+/-
	养殖收入满意度	$X_4$	非常不满意=1；比较不满意=2；一般=3；比较满意=4；很满意=5	+
	同行交流情况	$X_5$	无交流=1；交流比较少=2；交流一般=3；交流比较多=4；交流非常多=5	+
	养殖规模	$X_6$	<500 头=1；501~1 000 头=2；1 001~2 000 头=3；2 001~5 000 头=4；>5 000 头=5	+/-
	日均产奶量	$X_7$	连续变量	+
	员工人数	$X_8$	连续变量	-
	贷款情况	$X_9$	无贷款=1；≤200 万元=2；201~500 万元=3；>500 万元=4	+
	技术获取途径数	$X_{10}$	1 种=1；2 种=2；3 种=3；4 种=4	+
	技术培训参与次数	$X_{11}$	未参加=1；参加 1 次=2；参加 2~4 次=3；参加 5 次以上=4	+
	技术设备政府补贴	$X_{12}$	否=0；是=1	+

注：“+”代表因变量受自变量正向影响，“-”代表因变量受自变量负向影响，“+/-”代表因变量受自变量影响的方向不能确定或因变量与自变量不相关。  
Note: “+” means that the dependent variable is positively influenced by the independent variable, “-” means that the dependent variable is negatively influenced by the independent variable, and “+/-” means that the direction of the dependent variable influenced by the independent variable is uncertain or the dependent variable is not correlated with the independent variable.

3 结果与分析

3.1 精准奶业技术采用现状分析

表 2 为 4 种精准奶业技术的采用情况,从表中可以看出奶农对节省劳动力技术即自动脱杯技术的采用率最高,达到 64.9%。数据采集技术中自动识别技术和产奶量自动记录 2 种技术的采用率相当,分别为 57.7%和 56.2%,而对自动发情监测技术的采用率最低,为 37.7%。自动脱杯和产奶量自动记录技术属于奶厅技术,在奶厅修建时一次性投资,摊销到个体奶牛成本相对较低,而且操作较为简单,不需要处理数据。而自动发情监测技术需要应用于奶牛个体,单价为 500~800 元,投资成本相对较高,而且该技术的应用,需要技术人员具备相对较高的计算机水平,利用系统进行个体奶牛发情的识别。自动识别技术是养殖场其他管理系统的基础性技术,应用于个体奶牛,有电子耳标、脚环、项圈 3 种识别方式,电子耳标价格较低,每头牛 50~80 元,脚环或项圈识别系统为自动发情检测的配套系统。因此,相对于其他 3 种技术,自动发情监测技术投资成本及教育和信息成本相对较高,因此,采用比例相对较低。

表 2 精准奶业技术采用情况表  
Table 2 Statistical table of the adoption of precision dairy technology

技术类型 Type of technology	选项 Options	是否采用该技术 With or without this technology	样本数 Samples number	比例 Percentage/ %
节省劳动力技术 Labe-r-saving technology	自动脱杯技术	未采用	121	35.1
		采用	224	64.9
数据采集技术 Data-capture technology	自动识别技术	未采用	146	42.3
		采用	199	57.7
	产奶量自动记录技术	未采用	151	43.8
		采用	194	56.2
	自动发情监测技术	未采用	215	62.3
		采用	130	37.7

调研样本中,未采用 4 种精准奶业技术中任何一种的奶农有 88 人,占比 25.5%,进一步对未采用原因(表 3)进行分析发现,投资成本太高,无法承担是奶农未采用精准奶业技术的主要原因,占比 71.9%;有 21.1%的奶农表示目前未采用,但是接下来打算使用;还有 15.8%的样本表示使用这些技术太困难,缺乏专业人员管理;对技术投资风险考虑因素相对其他原因占比较低,仅占 1.8%。

表 4 12 个变量之间的相关性检验  
Table 4 Correlation test among 12 variables

变量 Variables	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>	X <sub>11</sub>
X <sub>2</sub>	-0.346***	1.000									
X <sub>3</sub>	0.413***	-0.231***	1.000								
X <sub>4</sub>	-0.008	0.057	0.012	1.000							
X <sub>5</sub>	-0.008	0.061	0.095*	0.190***	1.000						
X <sub>6</sub>	-0.108**	0.281***	0.010	0.113**	0.100*	1.000					
X <sub>7</sub>	-0.164**	0.319***	-0.004	0.016	0.048	0.598***	1.000				
X <sub>8</sub>	-0.175***	0.323***	-0.054	0.216***	0.024	0.517***	0.438***	1.000			
X <sub>9</sub>	-0.195***	0.086	-0.070	-0.140***	-0.055	0.299***	0.304***	0.170**	1.000		
X <sub>10</sub>	-0.097*	0.170**	0.016	0.003	0.006	0.101*	0.058	0.105**	0.112**	1.000	
X <sub>11</sub>	-0.055	0.072	-0.018	0.170**	0.221***	0.163**	0.164**	0.060	-0.046	0.029	1.000
X <sub>12</sub>	0.070	-0.137**	-0.016	0.011	-0.042	-0.004	-0.045	-0.011	-0.008	-0.062	0.098*

注: \*、\*\*和\*\*\*分别代表 10%、5%和 1%的显著性水平。下同。  
Note: \*, \*\* and \*\*\* indicate that the results are significant at the level of 10%, 5% and 1%, respectively. The same as.

由此可见,影响奶农是否采用精准奶业技术的主要原因是难以负担技术的投资成本。精准奶业技术属于资本密集型技术,其特点是进入成本高,投资回收期过长,还存在其他“隐性成本”,如教育和信息成本较高<sup>[34]</sup>,而新技术的应用在很大程度上会受到成本的制约,这些成本包括高昂的投资成本和技术难于使用的成本<sup>[35]</sup>。奶农作为理性经济人,总是追求以最小的成本来实现最大的效益为目标,技术前期投资成本太高,会在一定程度上限制奶农采用技术的积极性。而这与 Borchers 等<sup>[3]</sup>、Bewley 等<sup>[10]</sup>研究相类似,他们的研究表明技术的效益成本比、总投资成本是奶农采用精准奶业技术最重要的考虑因素。

表 3 未采用精准奶业技术原因情况  
Table 3 Statistical table of reasons for not adopting any precision dairy technology

原因分类 Cause classification	样本数 Number of samples	比例 Percentage/%
投资成本太高,无法承担	77	71.9
目前没使用,但是接下来打算使用	26	21.1
使用这些技术太困难, 缺乏专业人员管理	19	15.8
养殖场当前管理得当, 不需要使用这些技术	6	6.8
使用这些技术后,养殖场效益得不到保证, 存在一定风险	2	1.8

3.2 变量相关性检验结果分析

变量间相关性检验结果见表 4。从表中可以看出,年龄与受教育程度、养殖规模、日均产奶量、技术培训次数等存在负相关性,即奶农年龄越大,其受教育水平相对更低,参与技术培训的次数越少,养殖规模也越小。养殖规模与受教育程度、养殖收入满意度、同行交流情况、日均产奶量、员工人数、技术培训参与次数等存在正相关性,即养殖规模越大,奶农受教育水平相对更高,参与技术培训次数越多,与同行之间交流也更频繁,奶牛日均产奶量水平更高,对奶牛养殖收入也越满意。依次将所有变量进行逐步回归,最终确定回归模型中符合预期的变量。在进行二元 Logit 回归分析之前,考虑到各自变量之间可能存在多重共线性问题,因此,本文利用 VIF 法对符合预期的变量进行多重共线性检验。检验结果表明最大的方差膨胀因子 VIF 值为 3.29<10,说明各个变量之间不存在多重共线性问题。为方便比较同一因素对不同技术采用情况的影响程度,将所有符合预期的自变量都纳入到回归模型中,具体模型结果见表 5。

表 5 奶农采用精准奶业技术行为模型的估计结果  
Table 5 Estimated results of behavior model of farmers'adoption of precision dairy technology

变量 Variables	Y <sub>1</sub>		Y <sub>2</sub>		Y <sub>3</sub>		Y <sub>4</sub>	
	系数 Coefficient	标准误 St.Err.	系数 Coefficient	标准误 St.Err.	系数 Coefficient	标准误 St.Err.	系数 Coefficient	标准误 St.Err.
X <sub>2</sub>	0.441**	0.166	0.443**	0.147	0.380**	0.149	0.347**	0.136
X <sub>4</sub>	0.163	0.157	0.437**	0.148	0.112	0.145	0.354**	0.141
X <sub>6</sub>	0.283***	0.302	0.396**	0.237	0.439**	0.230	0.513**	0.186
X <sub>7</sub>	0.107**	0.039	0.113***	0.035	0.192***	0.038	0.084**	0.034
X <sub>8</sub>	0.108***	0.030	0.007	0.011	0.002	0.009	-0.016***	0.004
X <sub>11</sub>	0.277**	0.215	0.446**	0.195	0.197	0.195	0.486**	0.189
X <sub>12</sub>	0.631**	0.311	0.800**	0.283	0.881**	0.286	0.136	0.264
常数项 Constant term	-7.332***	1.464	-8.297***	1.340	-8.753***	1.365	-7.300***	1.251
R <sup>2</sup>	0.324		0.218		0.241		0.113	
似然比统计量 Likelihood ratio	145.03		102.41		113.83		51.56	

3.3 实证结果分析

3.3.1 奶农个体特征对其采用精准奶业技术行为的影响

根据表 5，奶农个体特征中，受教育程度（X<sub>2</sub>）通过了 5%水平的显著性检验，且系数为正，表明奶农受教育水平对 4 种技术采用均存在显著正向影响，影响程度从高到低依次是自动识别、自动脱杯、产奶量自动记录和自动发情监测技术。一般而言，奶农受教育程度越高，其对新技术的学习、认识和接受能力更强，越有利于新技术的采用。自动识别作为养殖场管理系统的基础性技术，受教育程度越高的奶农更能认识到这一点，因而对该技术采用的影响最大。而自动发情监测技术相对于其他 3 种技术，应用系统更为复杂，对养殖场技术人员的要求更高，教育程度越高的奶农对这一技术的缺点认知程度更深，因而对其影响最小。养殖收入满意度（X<sub>4</sub>）在自动识别（Y<sub>2</sub>）和自动发情监测（Y<sub>4</sub>）技术采用模型中通过了 5%水平的显著性检验，且系数为正，表明奶农对奶牛养殖收入的满意度显著正向影响其采用自动识别和自动发情监测技术，对自动脱杯和产奶量自动记录技术采用不存在显著影响。有研究表明奶农在决定采用某一技术之前，投入产出比和总投资成本是最先考虑的两个因素<sup>[3]</sup>。自动识别技术和自动发情监测技术主要应用于奶牛个体，需要在动物身上佩戴相关感知设备，设备部署成本导致的投资成本相对较高，且有相关研究得出采用自动发情监测技术与繁殖性能的改进不存在必然关系<sup>[36]</sup>。故由于投资成本高，投入产出比不稳定，奶农只有拥有满意的养殖收入才会考虑投资自动识别和自动发情监测技术。

3.3.2 养殖场生产经营特征对奶农采用精准奶业技术行为的影响

根据表 5，养殖场生产经营特征中，养殖规模（X<sub>6</sub>）通过了显著性检验，且系数为正，表明养殖规模对 4 种技术采用均呈显著正向影响，影响程度从高到低依次是自动发情监测、产奶量自动记录、自动识别和自动脱杯技术。规模较大的养殖场采用自动脱杯和产奶量自动记录技术，主要是通过摊销固定成本来实现规模经济。相关性分析结果也表明，养殖规模与养殖收入满意度、日

均产奶量、受教育程度等因素间呈显著相关关系。规模较大的养殖场采用自动识别和自动发情监测技术，主要是由于规模较大的养殖场，管理更规范，更舍得投入，日均产奶量越高，养殖场收入越高，资金实力更雄厚，更能负担得起应用这些技术高额的初始投资。规模较大的养殖场也雇得起受教育程度更高的员工，员工受教育程度越高，越容易接受和掌握精准奶业技术，利用这些技术手段辅助养殖场管理，以减少劳动力和时间的投入；同时由于实现了专业化分工，有专业的计算机人才利用这些技术产生的数据辅助生产决策。因而规模对这两种技术的影响作用也更大。日均产奶量（X<sub>7</sub>）通过了显著性检验，且系数为正，表明产奶量水平与 4 种技术采用均存在显著正相关关系，影响程度从高到低依次是产奶量自动记录、自动识别、自动脱杯、自动发情监测技术。日均产奶量是一个生产水平指标或生产效率指标，产奶量越高的奶牛场意味着其奶牛品种越优良，为了发挥奶牛最大的生产潜能，养殖场会配套其他先进技术，以发挥技术间的互补效应。因此，日均产奶量越高的养殖场，更多地采用 4 种精准奶业技术，即对这些技术产生正向影响作用。产奶量自动记录技术能够实现对个体奶牛产奶的实时记录，养殖场利用记录能准确识别出高产奶牛和低产奶牛，辅助决策奶牛的淘汰；个体产奶量自动记录有耐于自动识别；自动脱杯能减少过挤现象的发生，进而减少乳房炎的发生，而乳房炎是影响产奶量的主要因素。自动发情监测技术主要影响繁殖性能，进而间接影响产奶量性能，因而日均产奶量对其影响作用最小。员工人数（X<sub>8</sub>）在自动脱杯（Y<sub>1</sub>）和自动发情监测（Y<sub>4</sub>）技术采用模型中通过了 1%水平的显著性检验，且系数分别为正、负，表明员工人数显著正向影响奶农采用自动脱杯技术，显著负向影响自动发情监测技术采用，与自动识别和产奶量自动记录技术采用不存在显著影响。

3.3.3 外部环境特征对奶农采用精准奶业技术行为的影响

根据表 5，外部环境特征中，技术培训参与次数（X<sub>11</sub>）在自动脱杯（Y<sub>1</sub>）、自动识别（Y<sub>2</sub>）和自动发情监测（Y<sub>4</sub>）技术采用模型中通过了 5%水平的显著性检验，且系数为

正,表明技术培训对自动脱杯、自动识别和自动发情监测 3 种技术采用存在显著正向影响,影响程度由高到低依次是自动发情监测、自动识别和自动脱杯技术,对产奶量自动记录技术不存在显著影响。在技术扩散的早期,即使农户知道该新技术在未来可能会以一定可能性获得较高收益,但由于缺乏充分的科学信息,他们对该技术带来高收益的概率判断是模糊的<sup>[37]</sup>。技术的采用是一个渐进的过程,奶农在投资相关技术之前需先熟悉这些技术或有所认知,而各种形式的技术培训能提高养殖户对新技术的认知。奶农参加技术培训越多,可以与相关技术专家面对面交流并答疑解惑,能及时了解并掌握技术相关信息,提高其对该技术的信任程度,进而促进其采用技术。奶农通过生产性能对产奶量记录的有用性有了较为清晰的认识,即认知水平较高,4 种技术中,产奶量自动记录技术的商业化应用也最早,因而培训对其无显著影响。自动发情监测技术需要奶农掌握一定的数据管理技能,通常还需要专业的技术支持,对系统输出的数据进行分析后实现健康和繁殖管理<sup>[38]</sup>,因而技术培训参与次数对其应用的影响作用最大。技术设备政府补贴( $X_{12}$ )在自动脱杯( $Y_1$ )、自动识别( $Y_2$ )和产奶量自动记录( $Y_3$ )技术采用模型中通过了 5% 水平的显著性检验,且系数为正,表明政府补贴对自动脱杯、自动识别和产奶量自动记录 3 种技术采用存在显著正向影响,影响程度由高到低依次是产奶量自动记录、自动识别和自动脱杯技术,对自动发情监测技术采用不存在显著影响。奶农作为理性经济人,总是追求以最小的成本来实现最大的效益为目标,政府对奶农购买技术相关设备若有补贴,相应投资成本会降低,因此采用技术的积极性也越高。而自动发情监测技术与其他 3 种技术相比,相关设备价格更高,前期投资资金更多,因此虽有政府补贴,但实际价格仍然在可承受范围之外,所以限制对其采用的积极性。

## 4 讨 论

本文以中国华北产区奶农为例,通过问卷调研获取数据,基于农户行为理论和创新扩散理论,构建奶农采用精准奶业技术行为的理论分析框架和二元 Logit 回归模型,总结、提炼出精准奶业技术当前在中国的应用现状及影响奶农采用技术行为的可能因素。彭华等<sup>[39]</sup>调研了 53 家养殖场精准奶业技术的采用情况,采用定性描述分析法得出养殖规模越大,自动发情监测、产奶量自动记录、自动识别技术采用比例越高。与之相比,本研究扩大样本调研精准奶业技术在中国的应用现状,并采用二元 Logit 模型从奶农个体特征、养殖场生产经营特征和外部环境特征三方面分析奶农采用技术行为的影响因素,是对中国当前已有精准奶业技术领域相关研究的深化和有益补充。

本研究仅找出了可能影响奶农技术采用行为的因素,但各个因素之间的影响路径尚未进行整体分析,各个路径之间的相互影响也尚未充分考虑。此外,本研究从奶农技术行为选择进行分析,但技术接受模型提出技术接受的两个主要决定因素是感知的有用性和感知的易

用性。因此,后续研究可深入挖掘各个因素之间的影响路径及相关关系,进一步提高模型的解释力,还可开展基于技术接受模型的奶农采用精准奶业技术行为比较研究等。

## 5 结 论

本研究调查的 4 种精准奶业技术中,节省劳动力的自动脱杯技术的采用率最高,而数据采集技术中,投入成本相对较高的自动发情监测技术采用率最低。技术前期投资成本太高,无法承担是奶农未采用这些技术最重要的原因。调研的 11 种因素中,有 7 种因素至少对 1 种技术的采用符合预期假设。其中 3 种因素即奶农受教育程度、养殖规模和日均产奶量对 4 种技术具有正向促进作用,其他种个因素至少对 2 种技术的采用产生正向影响。4 种技术中,自动脱杯技术受养殖规模、政府补贴、技术培训的影响最小。自动识别受收入满意程度和教育程度的影响作用最大。产奶量自动记录受日均产奶量、政府补贴的影响最大,不受技术培训的影响。自动发情监测技术受教育程度、日均产奶量的影响最低,受养殖规模和技术培训的影响最高,不受政府补贴的影响。

为提高技术采用率,政府部门和企业针对 4 种技术应采用不同的推广措施。针对自动脱杯技术,由于养殖规模对其影响最小,应将推广重点放在小规模养殖场上。而自动发情监测技术的推广重点应放在大规模养殖场上,并利用技术培训提高奶农认知水平和数据管理技能。产奶量自动记录应更多通过政府设置专项补贴的形式推动养殖场应用,自动识别技术应重点关注受教育程度较低的奶农,通过培训等方式提高其对该技术的认知水平。

## [参 考 文 献]

- [1] Gargiulo J I, Eastwood C R, Garcia S C, et al. Dairy farmers with larger herd sizes adopt more precision dairy technologies[J]. *Journal of Dairy Science*, 2018, 101(6): 5466-5473.
- [2] Dela Rue B T, Eastwood C R, Edwards J P, et al. New Zealand dairy farmers preference investments in automation technology over decision-support technology[J]. *Animal Production Science*, 2020, 60(1): 133-137.
- [3] Borchers M R, Bewley J M. An assessment of producer precision dairy farming technology use, prepurchase considerations, and usefulness[J]. *Journal of Dairy Science*, 2015, 98(6): 4198-4205.
- [4] Abeni F, Petrera F, Galli A. A survey of italian dairy farmers' propensity for precision livestock farming tools[J]. *Animals (Basel)*, 2019, 9(5): 202-215.
- [5] Neves R C, LeBlanc S J. Reproductive management practices and performance of Canadian dairy herds using automated activity-monitoring systems[J]. *Journal of Dairy Science*, 2015, 98(4): 2801-2811.
- [6] Lyons N A, Eastwood C R, Rueb B D, et al. Current and future adoption of milking related technologies on Australian and New Zealand dairy farms[C]// *International Precision Dairy Farming Conference*. 2016: 445-450.
- [7] Lapple D, Holloway G, Lacombe D J, et al. Sustainable technology adoption a spatial analysis of the Irish Dairy Sector[J]. *European Review of Agricultural Economics*, 2017, 44(5): 810-835.
- [8] Silvi R, Pereira L, Paiva C, et al. Adoption of precision technologies by Brazilian Dairy Farms: The Farmer's



- perception[J]. *Animals* (Basel), 2021, 11(12): 3488.
- [9] Michels M, Bonke V, Musshoff O. Understanding the adoption of smartphone apps in dairy herd management[J]. *Journal of Dairy Science*, 2019, 102(10): 9422-9434.
- [10] Bewley J M, Russell R A. Reasons for slow adoption rates of precision dairy farming technologies: Evidence from a producer survey[C]//*Proceedings of the First North American Conference on Precision Dairy Management*. 2010, 27: 12-13.
- [11] Vieira A C, Fischer V, Canozzi M, et al. Motivations and attitudes of Brazilian dairy farmers regarding the use of automated behaviour recording and analysis systems[J]. *Journal of Dairy Research*, 2021, 88(3): 270-273.
- [12] 王少华, 何东健, 刘冬. 基于机器视觉的奶牛发情行为自动识别方法[J]. *农业机械学报*, 2020, 51(4): 241-249. Wang Shaohua, He Dongjian, Liu Dong. Automatic recognition of estrus behavior of dairy cows based on machine vision[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2020, 51(4): 241-249. (in Chinese with English abstract)
- [13] 游学杭, 马钦, 郭浩, 等. 奶牛身份识别和行为感知技术分析与发展[J]. *计算机应用*, 2021, 41(S1): 216-224. You Xuehang, Ma Qin, Guo Hao, et al. Analysis and prospect of dairy cow identification and behavior perception technology[J]. *Journal of Computer Applications*, 2021, 41(S1): 216-224. (in Chinese with English abstract)
- [14] 王超丽, 王树杰, 姜志涛, 等. UCOWS 奶牛发情监测系统应用效果分析[J]. *中国奶牛*, 2015(Z2): 21-22. Wang Chaoli, Wang Shujie, Jiang Zhitao, et al. Analysis of application effect of UCOWS dairy cow estrus monitoring system [J]. *China Dairy Cows*, 2015(Z2): 21-22. (in Chinese with English abstract)
- [15] 石芳权, 王辉, 赵一广, 等. 数字化技术与装备在奶牛养殖中的应用[J]. *中国乳业*, 2021(8): 60-67. Shi Fangquan, Wang Hui, Zhao Yiguang, et al. Application of digital technology and equipment in dairy farming [J]. *China Dairy Industry*, 2021(8): 60-67. (in Chinese with English abstract)
- [16] Schulze C, Spilke J, Lehner W. Data modeling for Precision Dairy Farming within the competitive field of operational and analytical tasks[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2007, 59(1): 39-55.
- [17] Eastwood C R, Chapman D F, Paine M S. Networks of practice for co-construction of agricultural decision support systems: Case studies of precision dairy farms in Australia[J]. *Agricultural Systems*, 2012, 108: 10-18.
- [18] 西奥多·W·舒尔茨. 改造传统农业[M]. 北京: 商务印书馆, 1987.
- [19] 余强毅, 吴文斌, 唐华俊, 等. 基于农户行为的农作物空间格局变化模拟模型架构[J]. *中国农业科学*, 2013, 46(15): 3266-3276. Yu Qiangyi, Wu Wenbin, Tang Huajun, et al. An agent-based model for simulating crop pattern dynamics at a regional scale: model framework [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2013, 46(15): 3266-3276. (in Chinese with English abstract)
- [20] 埃弗雷特·M·罗杰斯. 创新的扩散[M]. 北京: 中央编译出版社, 2002.
- [21] 陈昌建. 农户对提高母猪生产率关键技术的采用意愿分析[D]. 雅安: 四川农业大学, 2015. Chen Changjian. Farmers Using Willingness Analysis of Key Technologies to Improve Sow Productivity Based on the Investigation and Analysis of Suining City [D]. Yaan: Sichuan Agricultural University, 2015. (in Chinese with English abstract)
- [22] Mwanga G, Mujibi F, Yonah Z O, et al. Multi-country investigation of factors influencing breeding decisions by smallholder dairy farmers in sub-Saharan Africa[J]. *Trop Anim Health Prod*, 2019, 51(2): 395-409.
- [23] 邓美云, 李继志. 农户 VIP 技术采用行为的影响因素分析[J]. *农业现代化研究*, 2019, 40(5): 811-818. Deng Meiyun, Li Jizhi. Analysis of influencing factors of farmers' VIP technology adoption behavior[J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2019, 40(5): 811-818. (in Chinese with English abstract)
- [24] 盖豪, 颜廷武, 何可, 等. 社会嵌入视角下农户保护性耕作技术采用行为研究: 基于冀, 皖, 鄂 3 省 668 份农户调查数据[J]. *长江流域资源与环境*, 2019, 28(9): 2141-2153. Gai Hao, Yan Tingwu, He Ke, et al. Research on farmers' adoption behavior of conservation tillage technology from the perspective of social embedment: Based on 668 farmer survey data in Hebei, Anhui and Hubei Provinces[J]. *Resources and Environment in the Yangtze River Basin*, 2019, 28(9): 2141-2153. (in Chinese with English abstract)
- [25] 韩丽敏, 潘丽莎, 李军. 养羊(场)户品种改良技术采纳意愿影响因素分析: 基于 13 省 477 份调研问卷数据[J]. *中国农业资源与区划*, 2021, 42(3): 199-206. Han Limin, Pan Lisha, Li Jun. Analysis on factors influencing sheep households' willingness to accept the breed improvement technology: Based on 477 questionnaire data from 13 provinces[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2021, 42(3): 199-206. (in Chinese with English abstract)
- [26] Adenuga A H, Jack C, Olagunju K O, et al. Economic viability of adoption of automated oestrus detection technologies on Dairy Farms: A review[J]. *Animals* (Basel), 2020, 10(7): 1241-1255.
- [27] 王洋, 许佳彬. 农户禀赋对农业技术服务需求的影响[J]. *改革*, 2019(5): 114-125.
- [28] 刘灵芝, 李田芳, 王雅鹏. 农户水禽养殖新技术采用意愿的影响因素分析[J]. *农业现代化研究*, 2016, 37(6): 1114-1119. Liu Lingzhi, Li Tianfang, Wang Yapeng. Influencing factors on waterfowl farmers' willingness to adopt new cultivation technologies[J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2016, 37(6): 1114-1119. (in Chinese with English abstract)
- [29] 田文勇, 余华. 养殖户对育肥猪养殖关键技术采用的影响因素分析: 基于对四川技术推广示范区 373 个养猪户的调查[J]. *中国畜牧杂志*, 2016, 52(16): 21-26. Tian Wenyong, Yu Hua. Influencing factors analysis on farmers' adoption to fattening pigs key breeding technologies: based on the survey of 373 farmers in Sichuan technology promotion demonstration zones[J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2016, 52(16): 21-26. (in Chinese with English abstract)
- [30] 李楠楠, 李同昇, 于正松, 等. 基于 Logistic-ISM 模型的农户采用新技术影响因素: 以甘肃省定西市马铃薯种植技术为例[J]. *地理科学进展*, 2014, 33(4): 542-551. Li Nannan, Li Tongsheng, Yu Zhengsong et al. Factors influencing farmers' adoption of new technology based on Logistic-ISM model: A case study of potato planting technology in Dingxi City, Gansu Province [J]. *Progress in Geography*, 2014, 33(4): 542-551. (in Chinese with English abstract)
- [31] 俞振宁, 谭永忠, 练款, 等. 基于计划行为理论分析农户参与重金属污染耕地休耕治理行为[J]. *农业工程学报*, 2018, 34(24): 266-273. Yu Zhenning, Tan Yongzhong, Lian Kuan, et al. Analysis on fallow governance behavior of farmers in heavy metal polluted region based on theory of planned behavior [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering* (Transactions of the CSAE), 2018, 34(24): 266-273. (in Chinese with English abstract)
- [32] 李然嫣, 陈印军. 东北典型黑土区农户耕地保护利用行为研究: 基于黑龙江省绥化市农户调查的实证分析[J]. *农业技术经济*, 2017(11): 80-91.

- [33] 唐博文, 罗小锋, 秦军. 农户采用不同属性技术的影响因素分析: 基于 9 省(区)2110 户农户的调查[J]. 中国农村经济, 2010(6): 49-57.
- [34] Vecchio Y, Agnusdei G P, Miglietta P P, et al. Adoption of precision farming tools: The case of Italian Farmers[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2020, 17(3): 869-885.
- [35] Pierpaoli E, Carli G, Pignatti E, et al. Drivers of precision agriculture technologies adoption: A literature review[J]. Procedia Technology, 2013, 8(3): 61-69.
- [36] Lora I, Gottardo F, Contiero B, et al. A survey on sensor systems used in Italian dairy farms and comparison between performances of similar herds equipped or not equipped with sensors[J]. Journal of Dairy Science, 2020, 103(11): 10264-10272.
- [37] 金影怡, 许彬, 张蔚文. 风险、模糊与个体决策行为研究综述: 兼论其在农业技术扩散中的应用[J]. 农业技术经济, 2019(7): 15-27.
- [38] Jin Yingyi, Xu Bin, Zhang Weiwen. A review of risk, ambiguity and decision-making behavior and its application in technology diffusion of agriculture [J]. Journal of Agrotechnical Economy, 2019(7): 15-27. (in Chinese with English abstract)
- [39] Odintsov V M, Levit H, Chincarini M, et al. Review: Precision livestock farming, automats and new technologies: Possible applications in extensive dairy sheep farming[J]. Animal, 2021, 15(3): 100143-100153.
- [40] 彭华, 李军平. 我国奶牛养殖机械化智能化信息化应用现状分析[J]. 中国食物与营养, 2020, 26(10): 5-9.
- [41] Peng Hua, Li Junping. The application of mechanization, intelligence and informatization in dairy farming in China[J]. Food and Nutrition in China, 2020, 26(10): 5-9. (in Chinese with English abstract)

## Factors influencing farmers' adoption of precision dairy technology

Ren Qihong<sup>1</sup>, Peng Hua<sup>1\*</sup>, Dong Xiaoxia<sup>1</sup>, Yang Hongjie<sup>2</sup>, Zhang Liyu<sup>2</sup>, Li Liwang<sup>1</sup>

(1. Institute of Agricultural Information, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China;

2. Statistical Information Division of the National Livestock Station, Beijing 100125, China)

**Abstract:** Modern dairy industry has an urgent need to promote a sustainable development strategy in China. Among them, precision dairy technology can be one of the most important ways to realize the modern dairy industry. Farm management can be transformed from the group to the individual for high efficiency and production level. However, the current adoption of precision dairy technology was still lacking so far. Most research was focused on the influencing factors of technology application and development. Only a few explored the current adoption of precision dairy technology. This study aims to investigate the adoption behavior of precision dairy technology by dairy farmers. The research areas were selected as the dairy-producing bases in North China (Hebei Province, Henan Province, Shandong Province, and Shanxi Province). 345 valid samples were firstly collected for the latter use. A binary Logit regression was then used to construct the theoretical framework for the farmers' adoption of precision dairy technology, according to the farmers' behavior and innovation diffusion theory. The results showed that: 1) The adoption rates of automatic cup stripping, identification, milk recording, and estrus monitoring technology by dairy farmers were 64.9%, 57.7%, 56.2%, and 37.7%, respectively. 2) The non-adoption of new technologies was ever more costly for dairy farmers, particularly for the unaffordable investment in the early stage of technology. 3) All technology popularization levels, breeding scales, and average daily milk production presented a significant positive correlation on the adoption of four technologies. By contrast, there was a significant correlation with the other factors on the adoption of at least two technologies. Among the four technologies, the automatic cup stripping technology was the least affected by the breeding scale, policy subsidies, and technical training. The automatic identification technology was the most affected by the satisfaction of breeding income and education level. The automatic milk recording technology was the most affected by the average daily milk production, and policy subsidies without technical training. The automatic estrus monitoring technology was the least affected by the education level and average daily milk production without the policy subsidies, particularly the most influence from the breeding scale and technical training. Therefore, it is recommended to implement the different promotion measures for the four technologies. Specifically, the automatic cup stripping technology can be focused on small-scale farms, due to the least influence from the farming scale. The automatic estrus monitoring technology can be focused on large-scale breeding farms, technical popularization, and training for the strong skills of data management for the dairy farmers.

**Keywords:** agriculture automation; dairy farmers; precision dairy technology; application status; influencing factors; the north China region