

我国运用智慧农业的现状及其对策研究*

王术坤 柯珂 刘长全 马文慧^①

摘要:智慧农业利用新一代信息技术与农业深度融合,有利于传统农业转型升级,实现现代农业高质量发展。本文首先基于文本资料,系统梳理了智慧农业的发展演变过程及智慧农业对传统农业的影响机制,然后利用中国乡村振兴综合调查数据,分析了智慧农业在我国小农户生产中的应用状况。研究发现,我国农村地区智慧农业基础设施薄弱,小农户采用智慧农业技术的比例低、门槛高、难以深度融合,智慧农业在小规模粮食生产的经济效益低等问题。为提高我国智慧农业发展,建议采取强化农村网络基础设施建设、提高农民应用人工智能的意愿与能力、探索带动小农户发展的组织模式等措施。

关键词:智慧农业 小农户 影响机制

一、引言

智慧农业作为我国农业发展的新动能,对提高农业现代化水平、促进农业转型升级、提高农业增产增收和节本增效具有重要的现实意义。党的十八大以来,国家高度重视智慧农业发展,在国家政策支持下,我国智慧农业取得了快速发展。根据华经产业研究院数据显示,中国智慧农业市场规模由2017年的387.74亿元增长至2022年的868.63亿元,年均增长率在17.5%左右。智慧农业发展的基础设施不断完善,截至2023年,全国行政村通光纤和应用4G通信技术的比例达到100%,农村宽带接入用户数达到1.92亿户,每百户拥有计算机和移动电话25台和266.9部。

智慧农业主要是利用大数据、互联网、云计算、区块链、物联网人工智能等新一代信息技术与“三农”深度融合,以大数据为基础,重新优化配置传

统生产要素,涵盖生产、销售、管理、市场等农业全过程、全生命周期,以实现产量更高、质量更好、成本更低、环境污染更低的一种高质量发展新业态。目前,学术界对智慧农业的研究主要集中在智慧农业的概念界定(赵春江,2021)、运行模式(胡亚兰和张荣,2017)、作用机理(殷浩栋等,2017)、实现路径(于法稳,2020)等四个方面,研究对象主要是大规模农场或者现代化农业企业。智慧农业在小农户生产应用方面的研究较少,鲜有学者分析智慧农业影响小农户生产的作用机制。我国农业以小农户为主,深入分析智慧农业与小农户生产的衔接关系和作用机制对于实现农业现代化具有重大的现实意义。本文系统梳理了智慧农业的演变规律,采用全国八个省份的小农户调查数据分析了智慧农业在小农户中的应用概况,剖析智慧农业对农户生产的影响机制,提出我国智慧农业发展面临的问题和建议。

* 基金项目:国家自然科学基金青年基金项目“‘粮改饲’补贴政策对农户生产影响及政策化研究”(72003194);财政部和农业农村部国家现代农业产业技术体系资助“乡村振兴和建设农业强国背景下中国奶业现代化的战略与政策研究”(CARS-36);中国社会科学院重大经济社会调查项目“乡村振兴综合调查及中国农村调查数据库项目”(GQDC2022020)。

^① 王术坤,中国社会科学院农村发展研究所,副研究员,研究方向:农业技术经济;柯珂,武昌首义学院,讲师,研究方向:农产品市场及价格;刘长全,中国社会科学院农村发展研究所,研究员,研究方向:粮食安全;马文慧,通讯作者,全国农技中心,中级农艺师,研究方向:种业经济。

二、智慧农业的发展演变与机制分析

(一) 智慧农业发展的演变过程

结合不同阶段的发展特点及我国对智慧农业政策支持的发展规律,我国智慧农业发展大致经历了计算机应用驱动、信息技术驱动和大数据驱动三个阶段。

1. 计算机应用驱动阶段

智慧农业最初源于计算机技术在农业中的应用。20世纪80年代初,我国将计算机在农业中的应用列入“七五”计划,开发了农业中应用各类计算机程序软件包。此阶段,以欧美为代表的发达国家已经能够通过计算机进行智能推理、人机交互、计算机模型等为农业生产管理提供诊断服务。由于中国计算机发展较晚,智慧农业发展起步也较晚。

2. 信息技术驱动阶段

该阶段以信息技术推动精准农业创新为主,表现为农业机械装备的智能化控制与农业生产的可视化展示。在“九五”科技规划中,我国将3S技术(遥感技术、地理信息系统和全球定位系统)列为国家15项高新技术发展项目。2005年中央一号文件首次提出“加强农业信息化建设”,一直到2012年,中央一号文件多次提出加快农业农村信息化发展,强调在有条件的地区采用全球卫星定位系统。2014年中央一号文件提出建设以农业物联网和精准装备为重点的农业全程信息化和机械化技术体系。

3. 大数据驱动阶段

在大数据、人工智能、移动互联网等新一代技术叠加下,智慧农业进入以数据驱动为特征的发展阶段。2015年中央一号文件中首次提出智慧农业,“互联网+农业”成为关注的热点。2016年智慧农业被列为“十三五”规划的农业现代化重大工程之一,在此后历年的中央一号文件中都不同程度的支持智慧农业发展。2020年党的十九届五中全会、2021年中央一号文件进一步明确把建设智慧农业作为“十四五”时期以及面向2035年农业高质量发展的重要举措。

(二) 智慧农业对传统农业生产影响的机制分析

1. 智慧农业通过新的管理模式改变农户的传统经营方式

相对于传统农业,智慧农业主要从三个方面改变传统农业的经营方式:一是智慧农业使农业分工成为可能。通过大田可视化监督和可量化绩效,能够全方位、全过程对农业雇工进行监督,提高劳动力生产积极性。二是智慧农业使农业生产的空间格局发生变化,生产者逐步由室外劳作转为室内管理。智慧农业的“精准化”属性使生产者足不出户即可远程操控智能设备进行精准作业,打破了传统农业生产的空间限制,从而实现农业生产在时间与空间上的并存。三是智慧农业改变了农产品的交易方式。通过互联网、大数据信息,生产者可以及时了解农产品市场,足不出户便可实现农产品交易并提供定制化农产品服务。

2. 智慧农业通过新的农业技术提高农户生产效率

智慧农业主要通过三方面提高农业生产效率:一是智慧农业引发的创新驱动型增长。根据农业生产理论,智慧农业作为新型农业技术使生产函数的随机前沿面外延,提高了整个农业生产的技术效率。二是智慧农业引发的投资驱动型增长。智慧农业可以通过更加高效的农业投资缩小与生产前沿面的距离,提高现有条件下的生产效率。三是智慧农业优化生产要素配置。智慧农业在传统生产要素集合的基础上增加了生产、销售、管理、服务等生产各环节的数据信息,通过科学、精确、动态地优化管理方式,减少效率损失,达到现有要素配置下的最优生产效率。

3. 智慧农业通过规模经济降低平均生产成本提高农户收入

根据完全竞争市场理论,产品的价格在等于平均成本以及等于边际成本时,农产品市场出清。由于智慧农业的平均生产成本较高,以至于农产品只有在较高价格时生产者才能够获益。目前,智慧农业生产的平均成本可以达到高值农产品的市场价格,但是会高于粮食作物的价格。因此,我国智慧农业

主要应用于两个方面：一是生产作物集中在高值农产品。相对于粮食作物，蔬菜、水果、园艺等高值农产品的市场价格更高，生产者收益较高。二是规模化生产粮食作物。生产者可以通过扩大经营规模降低粮食作物的平均成本，使其低于或者等于粮食作物的价格以提高生产者收益。

4. 智慧农业通过减少信息不对称提高消费者社会福利

智慧农业减少信息不对称主要从三个方面提高社会福利：一是缓解信息不对称导致的农产品供需失衡问题。生产者通过大数据平台，建立农产品价格走势预测模型，指导农业生产主体动态调整产能，高效匹配供给端和需求端，以减少农户盲目生产、降低农产品损耗、实现农民增收。二是解决信息不对称引起的农产品质量问题。消费者可以借助互联网、二维码等信息技术，建立农产品生产全程信息共享平台，对农产品流通实行全程监管，实现农产品从田间到餐桌的全程可追溯，保障消费者对农产品的安全需求和个性化需求。三是解决信息不对称引起的农民信贷难问题。金融机构依托农业大数据建立农民征信体系，提高对农业金融的风险把控能力，增加农民融资机会并降低融资成本。

5. 智慧农业通过集约化生产改善农业生态环境

智慧农业可以利用卫星搭载高精度感知设备，通过精细化生产、测土配方施肥、农业节水灌溉、农业废弃物利用等方式，构建农业生态环境监测网络，获取土壤、水文、气候等农业资源信息。基于采集的数据分析，定量施肥、施药、灌溉等，达到农户使用量和作物需求量相吻合，防止出现多余化工药品流失造成的土壤、空气及水流污染，进而推动农业可持续发展。

三、智慧农业在小农户中的应用

我国主要以小农户为主，智慧农业在小农户中的应用是实现中国农业现代化的关键。作者采用2021年中国乡村振兴综合调查（CRRS）数据^①，分析小农户参与智慧农业生产的基本状况。CRRS通过

随机分层抽样的方法在全国十个省份组织了一项大规模农户调查。由于疫情原因，此次调查分别在年中和年底两个时间段进行。为减少统计误差，本文只选取在年中调查的浙江、山东、安徽、河南、黑龙江、贵州、陕西和宁夏8个省份的样本进行分析，总样本为2986户。

（一）智慧农业的基础条件

我国农村地区网络信号的质量略有差异，基本上都能够满足居民的需要。总体看，农户反映网络信号“非常好”的占比为47.7%，反映“偶尔断网”的占比为36.8%，“经常断网”的比例为5.9%，农户“不能上网”的占比仍然达到9.6%。不同地区之间存在差异。浙江省网络信号最好，65%的农户反映“非常好”；其次是山东和安徽，占比分别为57.5%和53.1%；河南、贵州、陕西、宁夏等省（区）占比相差不大，都在45%左右；黑龙江占比最低，为29.2%。

表1 不同省份农户网络基础条件（%）

省份	不能上网	经常断网	偶尔断网	非常好	(3) + (4)
	(1)	(2)	(3)	(4)	
黑龙江	6.6	8.3	55.9	29.2	85.1
浙江	10.4	5.2	19.4	65.0	84.4
安徽	9.8	3.9	33.2	53.1	86.3
山东	17.3	4.5	20.7	57.5	78.2
河南	6.7	3.6	46.3	43.5	89.8
贵州	5.3	5.8	43.4	45.5	88.9
陕西	13.5	3.8	38.1	44.7	82.7
宁夏	7.2	11.6	37.8	43.4	81.2
全样本	9.6	5.9	36.8	47.7	84.6

智能设备以手机为主，平板电脑和台式电脑相对较低且地区差异明显。总体看，全国使用智能手机的农户占比为89.4%，平板电脑占比为9.7%，台式电脑占比为31.5%。分地区对比看，智能手机使用率在不同地区的差异不明显。平板电脑和台式电脑地区差异比较明显，浙江省的农户使用平板电脑和台式电脑的比例最高，分别达到26.6%和62.5%，宁夏则占比最低，分别只有4.8%和17.1%。

^① 问卷调查和抽样原则请参考CRRS数据网站 http://rdi.cssn.cn/ggl/202210/t20221024_5551642.shtml。

表2 不同省份农户拥有智能设备的农户占比 (%)

省份	智能手机	平板电脑	台式电脑
黑龙江	90.1	6.1	20.7
浙江	91.6	26.6	62.5
安徽	89.2	9.2	26.4
山东	81.7	5.8	34.4
河南	93.4	13.4	47.5
贵州	89.5	7.4	21.8
陕西	87.1	4.8	23.0
宁夏	92.4	4.9	17.1
全样本	89.4	9.7	31.5

虽然农户使用智能手机的比例很高，但是使用效率不高。总体而言，农户完全可以学习使用新软件的比例仅为15.7%，“基本能够”学习使用新软件的比例仅为30.7%，两者总共占比不到50%。各省也存在一定的差异，浙江农户使用效率最高，“基本能够”以及“完全可以”学习智能手机新软件的能力达到62.1%，占比最低的是黑龙江，只有36.3%。可见，目前我国农户使用智能手机只是低层次的水平。调查也发现，很多农户只是在子女或者朋友的帮助下使用智能手机的微信、抖音、今日头条等软件，很少有农户专门下载学习用于农业生产的智能软件。智慧农业技术往往通过智能手机安装APP实现智能化功能，目前看大多数小农户还不具备充分使用智能手机的能力。可见，小农户如果完全融入智慧农业发展，还需要一定的技能培训和学习。

表3 不同省份农户对智能手机新软件的学习能力 (%)

省份	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(4) + (5)
	不能	较难	一般	基本能够	完全可以	
黑龙江	24.2	27.1	12.4	24.5	11.8	36.3
浙江	7.6	14.2	16.1	35.8	26.3	62.1
安徽	8.2	27.5	15.4	34.8	14.1	48.9
山东	11.8	32.8	15.3	23.3	16.8	40.1
河南	12.7	18.7	14.2	35.4	19.0	54.4
贵州	9.0	24.0	22.8	26.0	18.2	44.2
陕西	11.2	25.2	16.2	35.8	11.5	47.3
宁夏	20.8	28.8	12.3	29.3	8.8	38.1
全样本	13.3	24.7	15.6	30.7	15.7	46.4

注：调查问题为“您是否能够快速适应手机新软件和新功能”。

(二) 农户的智能化生产

我国小农户生产中使用智能设备的比例非常低。总体来看，在耕地、打药、施肥、灌溉、收获环节中使用智能化技术的占比分别为4.5%、6.9%、1.6%、0.9%和3.3%。近年来，由于无人机、GIS导航等智能设备的使用，打药和耕地环节使用智能化技术的比例相对较高。不同作物在不同的生产环节智能化技术应用存在一定差异。耕地环节，大豆的智能化设备较高，水稻较低，主要原因是东北地区大豆种植面积较大，便于智能机械化的生产；打药和施肥环节，水稻的智能化技术应用占比最高，分别达到9.6%和2.5%；灌溉环节，小麦的占比最高，达到1.4%；收获环节，小麦的智能化技术应用最高，达到5.8%。

表4 不同作物生产阶段智能化技术使用占比 (%)

作物	样本	耕地	打药	施肥	灌溉	收获
小麦	657	5.8	8.2	1.4	1.4	5.8
玉米	1469	4.2	5.6	1.5	0.8	2.7
水稻	408	2.7	9.6	2.5	0.3	2.7
大豆	135	6.7	5.9	0.7	0.7	0.7
全样本	2669	4.5	6.9	1.6	0.9	3.3

注：选取农户种植的粮食作物作物样本，在生产环节中如果农户利用GIS导航作业、遥感等数字信息决策、数字化精准控制、感应器收集数据等智能化技术则界定为使用了智能化技术。

(三) 农产品的智能化销售

表5 不同省份网络销售的方式占比 (%)

省份	样本	网络销售农产品占比	销售方式占比		
			开网店	社交软件	中间商代售
黑龙江	335	1.2	0.0	1.2	0.0
浙江	364	5.8	2.5	2.8	0.3
安徽	358	3.4	0.3	2.5	0.8
山东	344	1.2	0.0	1.2	0.0
河南	365	3.3	0.8	1.9	0.8
贵州	348	2.0	0.3	1.4	0.3
陕西	360	6.1	0.8	4.2	0.8
宁夏	374	1.3	0.0	1.1	0.3
全样本	2848	3.1	0.6	2.0	0.4

采用智能化销售农产品的农户较少，主要是通过微信、抖音等社交软件推销农产品。表5显示，

全国通过网络销售农产品的农户占比为3.1%，其中通过微信等社交软件销售农产品的占比为2.0%。不同地区存在一定差异，陕西、浙江两省网上销售农产品的比例较高，分别为6.1%和5.8%；黑龙江和山东两省占比较低，仅为1.2%。

四、智慧农业发展面临的挑战

1. 农村智能化基础设施薄弱，难以满足智慧农业的大规模发展。人工智能在农业领域的融合对网络实时响应和海量数据积累要求较高。目前，我国村级信息化服务网络不够健全，信息收集不足，农业领域网络化水平还有待提升。我国移动宽带和4G网络已经基本覆盖，对于智慧农业依赖性比较强的5G网络、光纤网络等基础设施建设还未实现全覆盖，无法满足云计算、物联网、VR技术、大数据、边缘计算等新技术对网络基础环境的需求。

2. 农户进入智慧农业的门槛较高，难以融入新型数字化生产模式。一是智能化农业投资属于资本密集型产业，传统小农户不愿意或者不具备投资能力。智慧农业具有投入成本高、收益周期长、风险大的特点，我国传统小农户属于风险厌恶型，生产投资决策一般采取比较保守的生产经营方式。二是专业化技术人才不足，难以应对新技术更新迭代的要求。我国农户年龄较大、受教育程度较低，接受新技术的意愿不强，对新技术和新的管理模式学习能力不足。三是乡村产业单一，产业链短，智慧农业难以嵌入乡村产业。从目前我国智慧农业建设项目看，各产业之间关联较少，难以将数字技术充分融合到农业产业，大多数处于“单兵作战”的初级阶段，难以形成规模经济。

3. 智慧农业技术与农业生产实际需求难以深度融合，导致资源浪费。我国智慧技术发展迅速，但是部分研发人员对农业了解不够深入，部分智慧农业的功能难以通过互联网、物联网、大数据、人工智能和智能装备等现代信息技术与农业需求有效结

合。调研发现，智能设备普遍存在数据采集不精准、信号传输不稳定、系统崩溃等现象。

4. 受土地资源硬性约束，智慧农业难以在粮食生产中实施。根据完全竞争理论，产品价格等于平均成本时农产品市场出清价格。理论上讲，由于智慧农业投入的固定成本较高，农户只能通过扩大经营规模降低平均成本才能够有更多的盈利空间。目前，我国大部分地区种植粮食作物的生产经营规模较小，受到土地资源硬性约束，土地流转速度放缓，粮食生产难以形成大规模生产，阻碍了智慧农业在粮食作物中的应用。

五、智慧农业发展的政策建议

1. 强化农村网络基础设施建设，为智慧农业发展奠定基础。一方面，进一步加强农村信息基础设施建设，扩大宽带和移动网络覆盖范围，提升网络速率，为部署智能化农业设施、采集农业大数据奠定良好基础。另一方面，建立健全农业信息服务平台，提高农产品供需、价格等信息的智能化预测水平，为农业生产决策提供更多参考与指导。

2. 发展新型职业农民，提高农民应用人工智能的意愿与能力。一是加强人工智能与农业深度融合的宣传工作，让农民充分认识到应用人工智能的长期效益，调动农民开展智慧农业的积极性。二是加强农业智能化设备的财政补贴，积极培养新型农民对智能化设施的应用能力，提高农户开展农业智能化生产经营的能力。三是加强农村新型职业农民的培训，通过干中学、专题培训等方式提高农民的专业素养。

3. 通过“小农户+企业”“小农户+合作社”等组织模式实现智慧农业在小农户中的应用。一是通过政府引导、政策补贴等方式鼓励企业、合作社进入智慧农业，发挥引领示范作用，提前搭建智慧农业的设施网络，解决智慧农业固定成本高的问题。二是通过小农户和企业及合作社合作的方式，逐渐

培养小农户采用智慧农业的技术和能力,实现小农户与智慧农业的有效衔接。三是利用企业、合作社等新型经营主体的组织功能,为智慧农业发展提供规模化经营的条件。

4. 加快土地流转,实现智慧农业在粮食作物中的规模化生产。智慧农业作为新型农业技术,只有在粮食生产中得到充分应用,才能够进一步提高我国粮食生产的生产效率,确保粮食作物稳产保供。目前,智慧农业投入的高成本决定了粮食作物必须规模化生产才能够产生收益。因此,应该继续优化土地流转政策,积极引导农户土地流转。

5. 提高智慧农业设备的技术水平以降低生产设备的生产成本。一是加大对农业专用芯片、传感器等基础零部件以及农业无人机、农业机器人等智能

化设备研发应用的支持力度,提升智能化农业设备供给能力和供给质量。二是提高生产智慧农业设备的生产技术,降低生产成本和智慧农业进入的高资本门槛。

参考文献:

- 韩楠. 我国发展智慧农业的路径选择 [J]. 农业经济, 2018, 379 (11): 6-8.
- 胡亚兰, 张荣. 我国智慧农业的运营模式、问题与战略对策 [J]. 经济体制改革, 2017 (04): 70-76.
- 殷浩栋, 霍鹏, 肖荣美, 等. 智慧农业发展的底层逻辑、现实约束与突破路径 [J]. 改革, 2021 (11): 95-103.
- 于法稳. 基于绿色发展理念的智慧农业实现路径 [J]. 人民论坛·学术前沿, 2020 (24): 79-89.
- 赵春江. 智慧农业的发展现状与未来展望 [J]. 华南农业大学学报, 2021 (06): 1-7.

(上接第 51 页)

生产的连续性和稳定性,特别是芯片等关键零部件的储备。

四是建立战略合作伙伴关系。企业应积极建立包括供应商、外部合作伙伴生态系统在内的协同机制和长期伙伴关系。通过共享其他合作企业的关键信息,以此实现供应链的协同管理与优化,进而推动企业自身构建起高度共享、全程透明的供应链,最终提高自身的反应速度和灵活性。

六、结论

1. 根据现有供应链韧性研究成果,本文将组合赋权-云模型运用于电动汽车制造企业供应链韧性评估中,构建了一种新的电动汽车供应链韧性评价模型。该模型有效结合主观和客观赋权特点,提高了权重计算的精确度,运用云模型也有效克服了评价过程中的不确定性和模糊性,使结果更加客观。

2. 对电动汽车制造企业供应链韧性进行评价,可以整体把握供应链韧性水平,使得企业能够快速分析供应链韧性和薄弱环节,进一步优化供应链韧

性,提高应对突发事件的能力。

3. 目前,供应链韧性还未做更深入的研究,本文在做供应链韧性评估时,所建立的指标具有一定的时滞性。供应链韧性作为供应链中断后的一系列动态变化的能力,动态的评估模型更符合其变化规律,未来研究韧性评价应该将关注更多放到动态的评价模型构建上。

参考文献:

- 樊雪梅, 卢梦媛. 新冠疫情下汽车企业供应链韧性影响因素及评价 [J]. 工业技术经济, 2020, 39 (10): 21-28.
- 李军, 李继光, 姚建刚, 等. 属性识别和 G1-熵权法在电能质量评价中的应用 [J]. 电网技术, 2009, 33 (14): 56-61.
- 贾梦雨, 李猛, 韩松, 等. 基于博弈论组合赋权的农村电网综合评价体系研究 [J]. 电力科学与技术学报, 2020, 35 (2): 69-75.
- 蔡方中, 张磊磊. 基于改进灰色预测模型的供应链韧性评价与预警研究 [J]. 工业技术经济, 2022, 41 (12): 100-107.
- Fahimnia B, Jabbarzadeh A. Marrying supply chain sustainability and resilience: A match made in heaven [J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2016 (91): 306-324.
- Käki A, Salo A, Talluri S. Disruptions in supply networks: A probabilistic risk assessment approach [J]. Journal of Business Logistics, 2015, 36 (3): 273-287.