



联合国  
粮食及农业组织

2022

概要

# 粮食及农业状况

运用农业自动化  
推动农业粮食体系转型

## 引用格式要求:

粮农组织, 2022。《2022 年粮食及农业状况: 运用农业自动化推动农业粮食体系转型》——概要。罗马, 粮农组织。  
<https://doi.org/10.4060/cc2459zh>

本小册子包含《2022 年粮食及农业状况》的主要信息和论点。文中图表的序号与全本中的一致。

封面图片: ©Sorapong Chaipanya/Shutterstock.com

泰国: 一名农民在绿色稻田里使用平板电脑的鸟瞰。

# 目录

## 要点

## 前言

## 概要

### 农业自动化：机遇颇多，但不无挑战

**图1** 自动化系统的三阶段循环

**图2** 农业自动化的演变

**图3** 1991–2019年农业就业在总就业中的占比，按收入（上图）和区域（下图）划分

### 认清过往，展望未来

**图4** 每1000公顷耕地拖拉机台数

**表2** 农业数字自动化的部分里程碑

### 农业数字自动化技术和机器人技术发展现状

### 简单机动自动化仍有一席之地

**图5** 农业生产系统使用的部分数字技术和人工智能机器人技术

### 投资数字自动化的商业逻辑

4		
6	<b>农业自动化会带来环境效益，但需要开展更多的研究</b>	21
11	<b>图6</b> 数字自动化技术推广条件的成熟程度	22
12	<b>农业自动化对劳动力和消费者的影响</b>	24
13	<b>图7</b> 从农业粮食体系的视角看自动化对就业的影响	24
14	<b>农业自动化进程必须具备包容性</b>	24
15	<b>高效、可持续、包容的农业自动化路线图</b>	25
16	<b>以农业为着眼点的政策和干预也会影响自动化技术的采纳</b>	26
17	<b>图8</b> 负责任利用农业自动化的政策选择路线图	27
16		
19	<b>农业粮食体系之外的政策、制度和投资</b>	28
20		
20	<b>农业自动化助推建设包容、可持续的农业粮食体系</b>	28

# 要点

**1** 农业自动化可以通过增强韧性、提高生产力和资源利用效率，以及提高粮食质量和安全，在实现可持续发展目标方面发挥重要作用，尤其是目标1（无贫穷）和目标2（零饥饿）以及与环境可持续性和气候变化相关的目标。

**2** 但若对小规模生产者，以及青年和妇女等其他边缘化群体而言始终遥不可及，则农业自动化反而会加剧不平等。某些技术（大型机动设备）造成的种植结构单一和土壤侵蚀等问题，会对环境产生负面影响。

**3** 在数字化革命之前，机动机械化（如拖拉机）是推动全球农业转型的重要力量；然而，各国之间以及国家内部在技术采纳方面差异明显，撒哈拉以南非洲大部分地区尤为受限。

**4** 若能因地制宜并辅以数字化工具，机动机械化仍有潜力提高农业生产率，从而减少贫困和加强粮食安全，并对更广泛的经济产生积极的溢出效应。

**5** 数字自动化技术的应用不断发展，但大多集中在高收入国家。很多情况下，数字技术的商业逻辑尚未成熟：部分技术仍处于原型阶段；还有一部分技术受限于农村基础设施落后（如通网和通电），故而难以推广，在低收入和中等收入国家尤为如此。

**6** 投资建设支持性基础设施、提高农村服务可及性（如金融、保险和教育）是技术获取的关键，特别是对小规模农业生产者和妇女等边缘化群体而言。

**7** 数字自动化技术在提高效率、生产力、可持续性和韧性方面潜力巨大。然而，这个过程需要包容性投资，让生产者、制造商和服务商都参与进来，并要特别关注妇女和青年，以便进一步开发技术并使其顺应最终用户的需求。

**8** 农业自动化对就业的影响取决于具体背景。在工资上涨、劳动力稀缺的情况下，自动化可为有技能的

青年工人创造机会，对农业乃至农业粮食体系的雇主和工人都有裨益。

**9** 若农村劳动力充足且工资偏低，则农业自动化就会造成失业，尤其是人为补贴导致自动化成本低廉，或者是突然而至的技术突破导致自动化成本快速下降的情况下。

**10** 在劳动力充足的背景下，政策制定者不应补贴自动化，而应着力营造出有利环境推动技术采纳，尤其是确保小规模农业生产者、妇女和青年能够采纳技术，同时还要为最

可能在转型中失业的低技能工人提供社会保护。

**11** 营造有利的环境需要采取多方协调行动，包括立法和法规、基础设施、制度安排、教育和培训、研究和开发，以及为私营创新进程提供支持。

**12** 推动负责任农业自动化的投资和其他政策行动应立足于具体情况，例如连通状况，与知识和技能相关的挑战、基础设施的充足性以及获取方面的不平等等。

# 前言

本报告深入解析了农业的现状——农业部门正在经历深远的技术变革，且变革速度不断加快。几年前仍无从想象的新技术正在快速涌现。例如，基于电子标签的畜牧生产技术（包括挤奶机器人和家禽饲喂系统）正在部分国家逐步推广。全球卫星导航系统使得自动化作物生产成为可能，该过程中会利用自动转向拖拉机、撒肥机和喷药机。更为先进的技术也已经在市场上崭露头角。在农作物生产领域，除草机器人等自动化机器开启了商业化进程，无人飞行器（通常称为无人机）负责收集作物管理和投入品施用数据。在水产养殖领域，自动化饲喂和监测技术正在大行其道。在林业领域，木材砍伐和运输机械是当前自动化技术研发的主要目标。很多近期开发的技术推动了精准农业的发展，这是一种利用信息优化投入品和资源利用的管理策略。

近年来的技术发展让人耳目一新，为之称叹，激发了更深入研究的热情。然而，不容忽视的是，技术变革并非另起炉灶；更为重要的是，并非所有的农业粮食体系行为主体都能获取这些技术。几十年来，粮农组织对这个问题开展了持续研究。就目前而言，我们今天看到的只不过是农业技术漫长变革过程中的一个整合点。过去两个世纪以来，这一过程一直在加速发展。

变革过程提高了生产力，减少了繁复的农业劳动，使得劳动力可以解脱出来从事其他活动，从而最终改善了人们的生计和福祉。机械设备得以改进，有时甚至取代了农业作业中涉及的两个关键步骤：诊断、决策和执行。技术发展前后经历了五个阶段：手动工具的引入；畜力牵引的使用；1910年代以来实行的机动机械化；1980年代以来数字设备的采用；以及近期机器人技术的

引用。本报告中所指的自动化实际上是从机械机械化开始的，农业作业的执行部分实现了较高程度的自动化。得益于近期涌现的数字技术和机器人技术，诊断和决策过程也开始逐步实现自动化。正如本报告所述，技术变革进程从未中断，但并非所有国家的所有农业生产者都处于同一阶段。

诚然，人们普遍担心节省劳动力的技术变革所带来的负面社会经济影响，特别是工作岗位被取代及随之而来的失业。这种担心至少可以追溯到十九世纪之初。然而，回顾过往便可以看到，对于自动化提高了劳动生产率进而造成大范围失业的担心并未成为事实。这是因为，农业自动化是社会结构转型过程的一部分，随着农业劳动生产率的提高，农业工人逐渐解放出来，使其得以进入工业和服务业等其他利润更高的行业。在转型过程中，农业人口占比一定会下滑，但其他部门的就业机会则会水涨船高。技术变革通常伴随着农业粮食体系内部的变革，上下游各部门也在同步发展，创造出新的就业和创业机遇。因此，要认识到农业是更宽泛农业粮食体系的一个重要组成部门。

本报告着重指出，农业现代化的潜在效益是多方面的，能够推动农业粮食体系转型，增强农业粮食体系的效率、生产率、韧性、可持续性和包容性。自动化能够提高农业劳动生产率和利润率；改善农业工人的工作条件；在农村地区创造对青年尤有吸引力的新创业机会；减少粮食损失，改进产品质量和安全；另外，还有助于加强环境可持续性和气候变化适应。近期开发的解决方案涉及精准农业和小规模设备的采纳，相比使用重型机械的机械机械化更加适宜本地状况，有助于改善环境可持续性，增强抵御气候和其他冲击的韧性。得益于上述诸多益处，农业自动化有助于实现若干可持续发展目标。

尽管如此，本报告中也探讨了农业自动化相关的风险和问题。与任何的技术变革一样，农业自动化意味着对农业粮食体系的颠覆。若自动化进展过快，不顾本地社会经济和劳动力市场状况，就会冲击就业——这是一定要避免的常见问题。此外，自动化会增加对高技能劳动力的需求，压缩低技能工人的空间。若是富裕的大规模农业生产者比贫困的小规模生产者更容易获取自动化服务，则自动化就有可能加剧不平等，这一点是无论如何都要避免的。若管理不当，不考虑本地状况，则自动化，尤其是依赖重型机械的机械化，还可能危及到农业的可持续发展。这些风险都是真真切切的，并在本报告中得到了确认和分析。

正如本报告所述，完全否定自动化并不可取。粮农组织坚信，没有技术进步和生产率提高，让数亿人摆脱贫困、饥饿、粮食不安全和营养不良就只能是镜花水月。拒绝自动化只会让农业劳动力陷入恶性循环，在生产力水平低下和回报率差强人意中止步不前。真正重要的是自动化进程的推进方式，而非是否要推进自动化。我们必须确保自动化的发展过程具有包容性，能够推动可持续发展。

在整篇报告中，粮农组织都在倡导负责任技术变革的理念，只有这样农业自动化才能取得成功。这意味着什么？

首先，农业自动化要成为农业转型进程的有机构成，与范围更宽泛的社会和农业粮食体系变革同向而行、相辅相成。故此，采用自动化对真正的激励措施做出响应是至关重要的。劳动力节约型技术若以应对劳动力日渐短缺和农村工资不断上涨为着眼点，就会进一步推动农业转型进程。另一方面，如果人为地鼓励采用自动化或特定的自动化技术，例如通过政府补贴，特别是在劳动力充足的情况下，则推行自动化就会造成很大冲击，对劳动力市场和社会经济产生负面影响。政府政策不要制约自动化，否则农业生产者和工人就会陷入劳动力水平低和竞争力弱的泥沼。本报告认为，政府的恰当作用是营造出有利

环境,以促进采纳适宜的自动化方案,而非在可能适宜的情况下直接激励推出某种解决方案,或以任何方式阻碍自动化的实施。

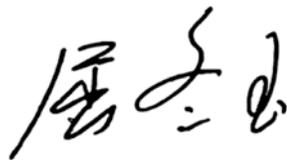
为助力实现可持续发展目标,自动化要具有包容性。自动化进程要为所有人提供机遇,包括小规模生产者和大规模商业农场,也包括妇女、青年和残疾人等边缘化群体。要克服各种实施阻力,特别是妇女面临的阻力。让各类生产者获得适宜的技术解决方案需要确保技术呈现规模中性特点,即使其适用于所有规模的生产者,或通过共享服务等制度机制确保所有人都能找到适合的技术并采纳这些技术。通过教育和培训培育数字技能也很重要。此举能够促进技术采纳,避免因不平等的知识和技能而出现的数字鸿沟。

为了增强可持续性并真正具有包容性和变革性,自动化解决方案要因地制宜,不仅要考虑生产者的特征,还要考虑当地的生物物理、地形地貌、气候及社会经济状况。本报告从实际出发,并不会提供放之四海而皆准的解决方案。最先进的技术解决方案未必最适合所有地方和所有人。正如文中实证显示,某些情况下,小型机械,甚至是手持设备等简单技术会给小规模生产者带来实实在在的好处,能够支持山地作业。甚至在某些情况下,生产者可以跳跃式前进,直接过渡到更为高级的技术解决方案。简而言之,农业生产者自己选择最适合自身需要的技术,政府则要营造出有利环境,以支持生产者做出适当的选择。

最后,本报告还指出,农业自动化必须要有利于增强农业的可持续性和韧性。过去大规模重型机械的使用常常给环境可持续性带来破坏。解决这个问题需要因地制宜地开发以小型轻量机械为特色的机械化方案。同时,助力精准农业发展的数字农业和机器人技术可以提供更加节约资源、更加具有环境可持续性的解决方案。应用型技术和农业研究有助于探索适宜方案,进一步实现环境可持续性目标。

本报告细致探究了这些问题，提出农业自动化的发展目标并开展深入分析，驱散了围绕农业自动化的种种误解，厘清了不同国家和地方背景下推行农业自动化的方向。本报告提出了政策干预和投资的重点领域，以确保农业自动化有助于包容性和可持续发展。

粮农组织从战略层面上坚信，在适当的治理、人力资本和制度的支持下，技术、创新和数据是所有计划干预措施的关键跨领域和跨部门加速器，能够加速实现目标，减少利弊权衡。毫无疑问，这些加速器将促进所有背景下的农业转型。我希望，本报告能够以建设性方式推进这一领域的政策讨论，因其对于实现可持续发展目标具有重要意义。



联合国粮农组织总干事

屈冬玉

# 概要

长久以来，技术变革在提高生产力、收入和福祉方面都功不可没。如今，在耕地有限、自然资源不可持续和气候变化的大背景下，供养不断增长的全球人口已经离不开技术解决方案。技术解决方案需要提升各个部门的农业生产力和可持续性，包括农作物和畜牧业生产、水产养殖、渔业和林业，另外还要刺激农业粮食体系内部的生产率提高。

农业自动化推动了农业转型，提高了生产率，促进了劳动力重新配置。机动自动化使得农业作业的执行环节实现了自动化，而数字技术则为实际作业前决策过程的自动化创造了新的机遇。

人们普遍担心自动化会导致失业增多；这种想法虽然可以理解，但本质上是杞人忧天。总体而言，自动化产生了多种积极影响，包括缓解劳动力紧张，增强农业生产韧性，改进产品质量，提升资源使用效率，推动体面就业，以及加强环境可持续性。而当自动化进程与本地需求不匹配时，往往会产生不利的社会经济影响，例如失业增多。防范不利影响可以采取多种措施，包括为农村劳动力提供其他就业机会，清除贫困小规模生产者参与自动化进程的障碍，避免在劳动力充足和农村工资水平较低背景下对自动化进行补贴。

## 农业自动化：机遇颇多，但不无挑战

所有农业作业都包含三个阶段：诊断、决策和执行（图1）。机动机械化实现了执行自动化，例如犁地或挤奶。数字自动化技术还会带来诊断和决策自动化。这些技术提高了精准程度和生产水平，对于增强环境可持续性和韧性也有利好。农业技术沿革可以概括为从手动工具进化到畜力牵引，再到机动机械化、数字设备，最后是具有人工智能的机器人技术（图2）。

在此背景下，本报告提出了农业自动化的定义：

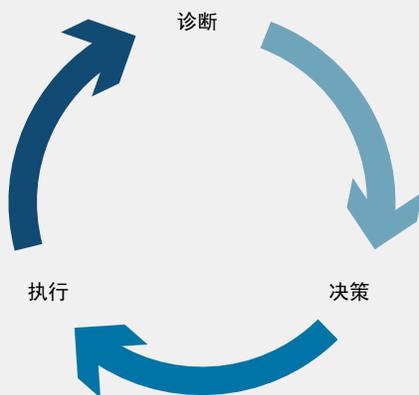
在农业作业中使用机械和设备，改进诊断、决策或执行，以降低农业劳动的繁重性，或提高农业作业的及时性，甚至于精准性。

农业自动化有助于提高生产率，支持更加细致的作物、畜牧、水产和林业管理。此外，农业自动化还可以改善工作条件，提高收入水平，减少农业工作负荷，创造新的农村创业机会。农场环节之外的技术有助于减少食物损失和浪费，提高食品安全水平，促进实现增值。

在很多国家，农村劳动力减少，农业工资水平提高，这是农业自动化的一个主要驱动因素（图3）。此外，对于食品安全和环境问题的意识不断加强也刺激了数字技术的投资。随着畜牧生产养殖规模不断扩大，畜牧管理和动物福利方面的挑战也助推了自动化进程。

另一方面，农业自动化也有可能加剧社会不平等，因为教育背景更好的较大规模生产者更有能力投资新技术，或掌握新技能。妇女和青年面临的阻力尤大，例如获得优质教育和培训，以及获取土地、信用和进入市场。此外，自动化可能会取代诸如种植、采收等日常工作，但也会创造更多需要熟练技能的工作。在农村劳动人口数量庞大的国家中，这种就业结构转变可能会加剧不平等。应对这些挑战需要降低技术采纳门槛，尤其是对小规模生产者、妇女和青年而言，要确保各种规模的农业生产者都能获取自动化解决方案。这就需要推动技术创新，让自动化技术适应小规模生产者的需要，或通过创新的制度安排，例如共享资产或机械租赁服务，为设备所有者与小规模生产者搭建桥梁，后者可以

**图1 自动化系统的三阶段循环**



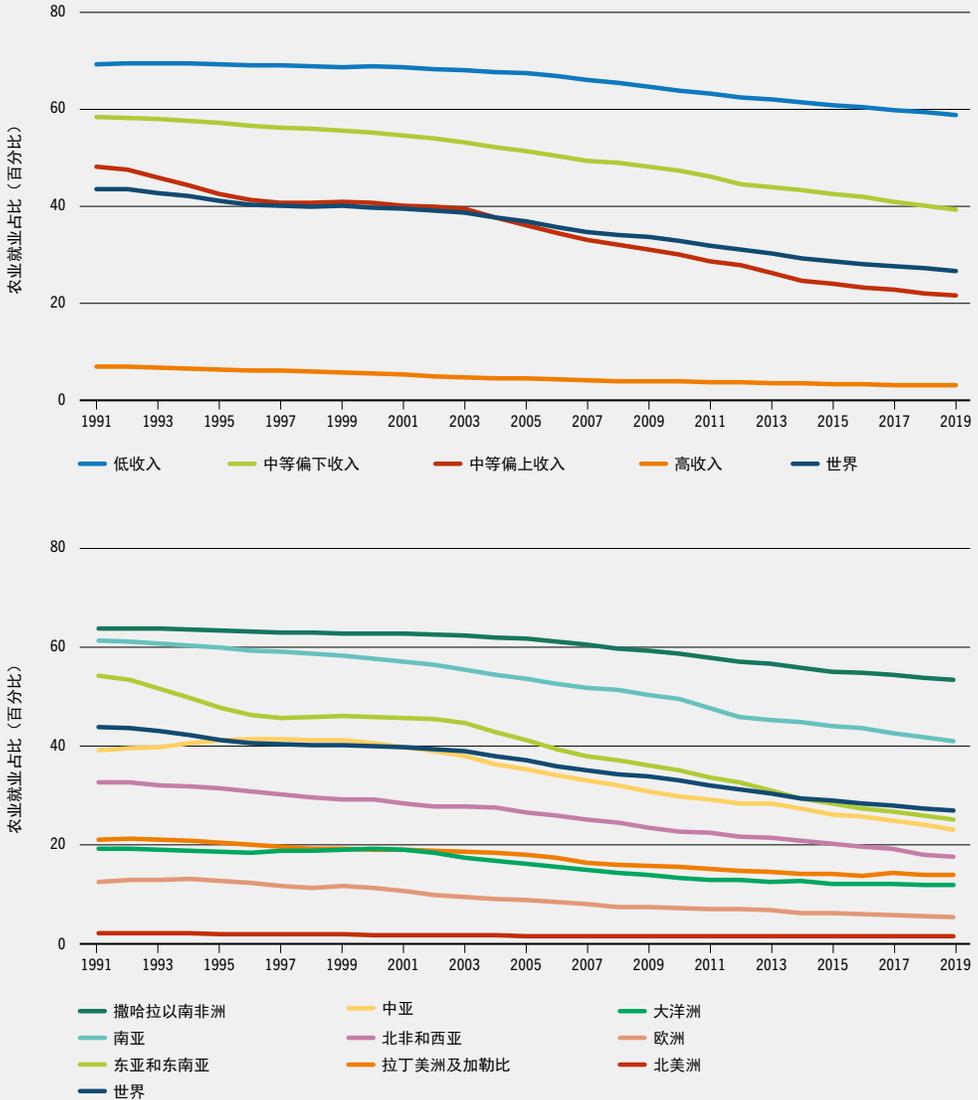
资料来源：粮农组织为本报告编制。

**图2 农业自动化的演变**



资料来源：粮农组织为本报告编制。

**图3** 1991-2019年农业就业在总就业中的占比，按收入（上图）和区域（下图）划分



资料来源：粮农组织，2022。

» 付费获得自动化服务，而非必须购置农机。

依赖重型机械的农业自动化也可能会与环境可持续发展背道而驰，进一步刺激森林砍伐和农田单作，造成生物多样性损失、土地退化和土壤侵蚀。然而，一些新的自动化进展，尤其是有人工智能加持的小型设备，可以扭转部分不利影响。

## 认清过往，展望未来

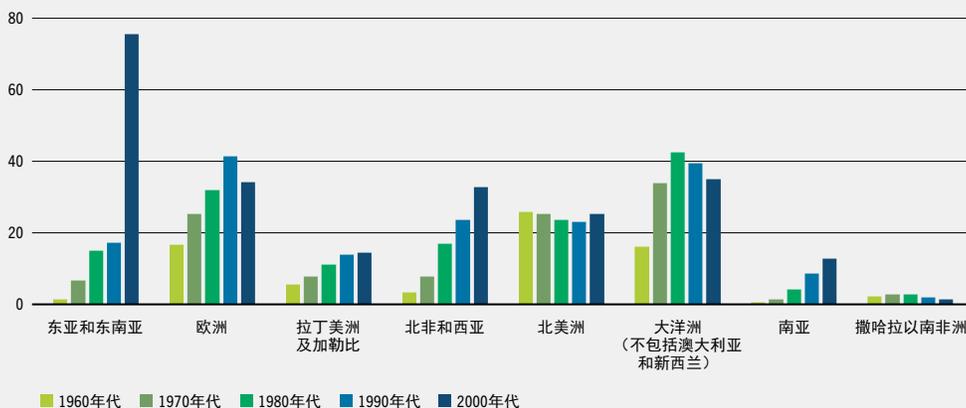
全球范围内，机动机械化发展突飞猛进，但国家覆盖面较广的全球可靠数据仅限于拖拉机，且只更新到 2009 年（图 4）。拖拉机的使用是二十世纪最具影响力的创新。拖拉机于 1910–1960 年间始现于美国，1955 年之后进入日本和欧洲。随后，很多亚洲和拉丁美洲国家在机动机械化方面势如破竹；此外，一些国家的农机制造业也开始崭露头角。随着机械租赁市场的发展，拖拉机的使用更加普及，小规模生产者也开始使用。然而，过去几十年间，拖拉机的应用在撒哈拉以南非洲裹足不前，轻型手持工具仍是农业设备的主要类型。由于治理不善，上世纪 60 年代和 70 年

代推广机械化的行动（如提供农机补贴，建立国营农场）投入不小，但收效甚微。当前，农业在非洲被再次纳入发展议程，上述情况正在逐步发生转变，自动化再度引发关注。

自上世纪 70 年代起，数字技术通过各种应用场景在农业领域大行其道（表 2）。最初应用是简单的精准畜牧技术，基于电子标签对动物进行管理；这项技术为 90 年代的挤奶机器人扫清了障碍。同时，嵌套在机械化操作中的数字工具（如安装全球卫星导航系统的农机）呼之欲出，拖拉机、撒肥机和配药机的自动转向成为可能。近年来，智能手机等自成一体的设备通过传感器、高分辨率摄像头以及内嵌其中的各类应用为生产者提供了有用的信息。这些技术可以降低成本，提高生产率，加强工作安排的灵活性，改善生活质量。

更加先进的技术仍在不断涌现，例如物联网解决方案，用于监测及在一定程度上针对作物、牲畜和鱼类护理进行自动决策。数字化服务还包括共享资产服务，将设备所有者同需要设备的农民联系起来。

图4 每1000公顷耕地拖拉机台数



注：拖拉机是指用于农业的轮式、履带式 and 辅轨式拖拉机。截至2000年，第四种类型的拖拉机（步行式拖拉机）被考虑应用于部分国家。只考虑了在1961-2009年间持续提供数据的国家（共108个国家）。由于数据缺失，中亚没有纳入其中。完整的国家名单见附件2，包括截至2000年第四类拖拉机（步行式拖拉机）被考虑应用的33个国家。  
资料来源：粮农组织，2021。

数字技术对于非机械化精准农业也有助益。手动定点施肥技术很早以前就开发出来了，例如利用可变速率技术对水稻施肥；而若干低收入亚非国家已经在使用手持式土壤扫描仪。此外，无人飞行器服务（即无人机）以及全球卫星导航系统也为亚洲（测量土地面积）和非洲（绘制土地边界地图）的非机械化农民提供了帮助。

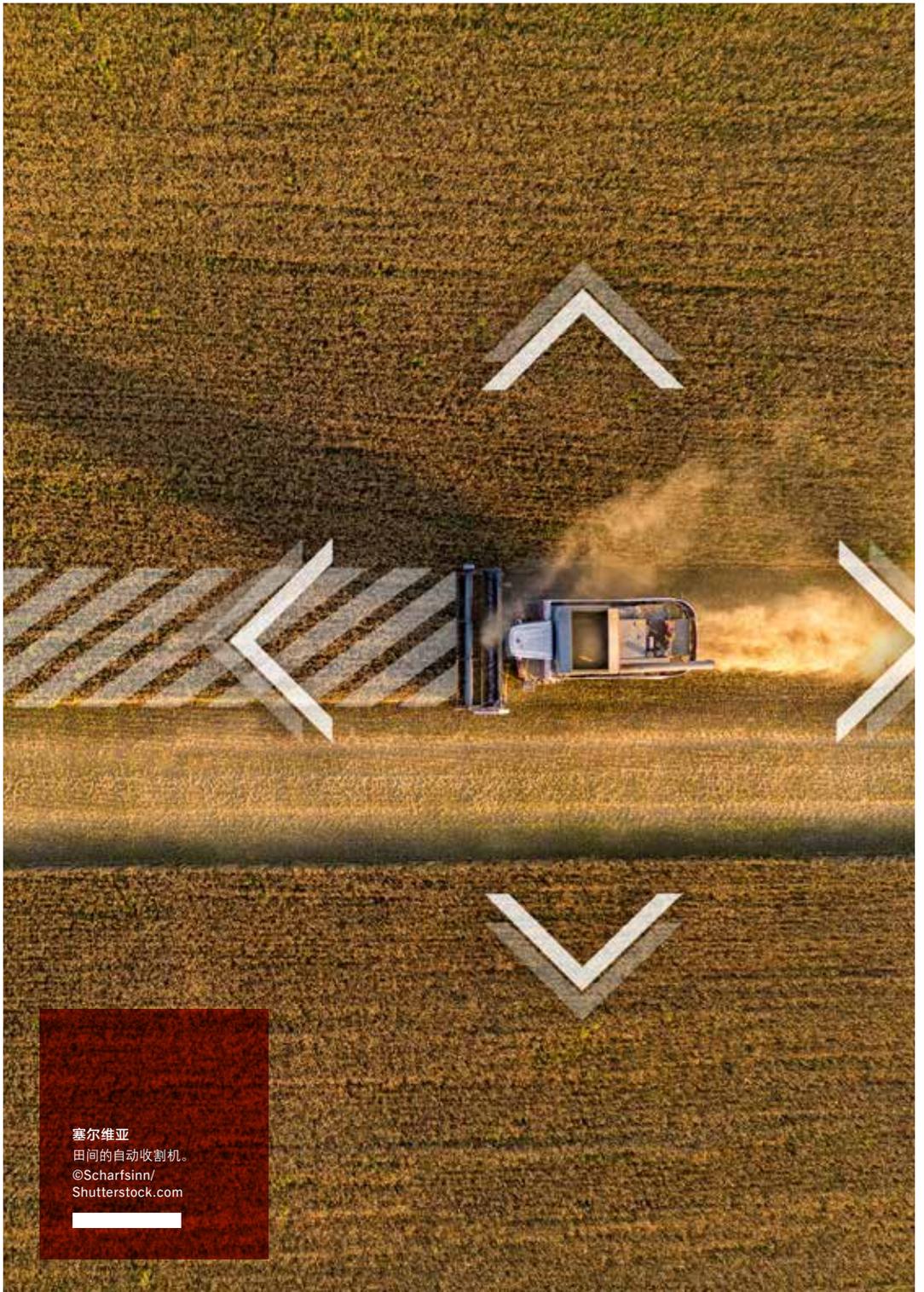
## 农业数字自动化技术和机器人技术发展现状

在农业领域，数字自动化和机器人技术的应用情况千差万别（图5）。装备各类传感器和高分辨率摄像头的智能手机是中低收入国家生产者最易获得的硬件（尤其是小规模生产者）。然而，农村地区数字化水平低、

**表2 农业数字自动化的部分里程碑**

年份	技术或行动	企业或组织	国家	索引
1974	牲畜电子身份证	蒙大拿州立大学	美国	Hanton and Leach, 1974
1983	允许民用GPS的行政命令	美国政府	美国	Brustein, 2014 Rip and Hasik, 2002
	无人机施用肥料和农药	雅马哈	日本	Sheets, 2018
1987	计算机控制的VRT施肥机	Soil Teq	美国	Mulla and Khosla, 2016
1992	挤奶机器人	Lely	荷兰	Lely, 2022 Sharipov et al., 2021
1997	GNSS农业设备导航	Beeline	澳大利亚	Rural Retailer, 2002
	氮素传感器	雅苒	挪威	Reusch, 1997
2006	自动喷雾器喷杆部分控制器	天宝	美国	Trimble, 2006
2009	分行播种机	Ag Leader	美国	Ag Leader, 2022
2011	除草机器人	Ecorobotix Naïo Technologies	瑞士 法国	Ecorobotix, 2022 Naïo, 2022
2013	联合收割机操作员辅助系统	Claas	德国	Claas, 2022
2017	首个完全自主的大田作物生产系统	哈珀亚当斯大学	英国	Hands Free Hectare, 2018
2018	无人驾驶随行翻斗车	Smart Ag	美国	Smart Ag 2018
2022	无人驾驶大型拖拉机	约翰迪尔	美国	John Deere, 2022

注：GPS 即全球定位系统；VRT 即可变速率技术；GNSS 即全球卫星导航系统。  
资料来源：Lowenberg-DeBoer, 2022。



塞尔维亚  
田间的自动收割机。  
©Scharfsinn/  
Shutterstock.com



缺少适宜小规模生产者的技术，以及数字技术成本较高，这些都是采纳数字技术的最大障碍。

近年来，自动化作物机器人等先进技术已经开启了商业化进程。无人机被用来收集信息，自动计算投入品施用量，但此类技术的应用往往受到严格的监管。

在水产养殖行业，自动化发展呈上升态势；在林业部门，移动机器人在虚拟现实和遥感技术的加持下，已经使得很多木材采集工作实现高度机械化，为更高级自动化机械的应用扫除障碍。此外，遥感技术也被用于监测森林砍伐。自动化在控制环境农业中也可发挥作用，包括室内农业和垂直农业。

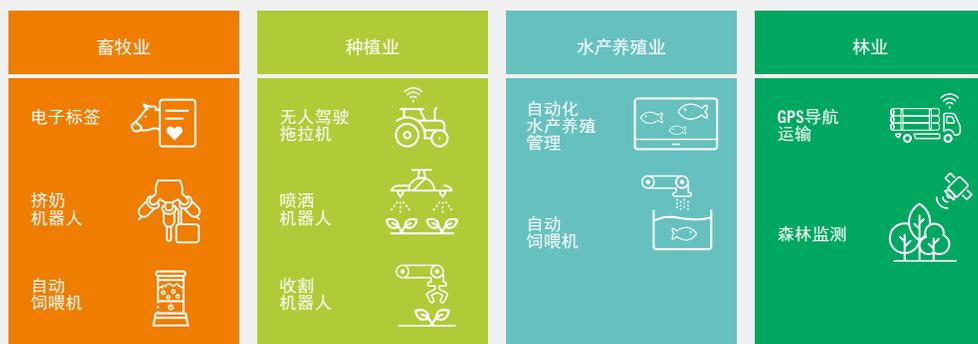
很多技术解决方案已经虚位以待，而技术应用方向和采纳速度在很大程度上受到政策选择影响。政府要推动这些技术的获取，尤其是针对小规模生产者、妇女、青年以及其他弱势和边缘化群体，并确保技术能够因地制宜地适应生产者的具体需要。另外，政府应为创新技术提供公平的环境，支持私营部门满足自动化需求。

## 简单机动自动化仍有一席之地

数字技术和机器人技术令人称道，但机动机械化仍可带来多重惠益，包括提高收入、降低成本、减轻繁重劳动以及解放家庭劳动力。此外，机动机械化结合保鲜和储存技术可以改进食品安全；还能增强农业韧性，尤其是面对气候冲击的韧性，支持农民更快速地完成农场工作，以及更灵活地适应天气变化。机动机械化对更广泛的经济会产生溢出效应。此种效应包括随着劳动生产率提高，农村家庭的非农物资和服务需求不断扩大；农业劳动力进入劳动生产率更高的其他行业，推动非农经济持续发展。

因此，某些背景下机动机械化仍有持续发力的空间。在低收入和中等收入国家，小规模生产者可能更青睐两轮拖拉机的小型机械，此类机械相比重型机械成本更低，也更具环境可持续性。因此，农业机械化在很多低收入和中等收入国家的政治议程中仍然占据重要地位。撒哈拉以南非洲尤为如此，而此前，农业机械化在该区域有相当长的时间无人问津。

**图 5 农业生产系统使用的部分数字技术和人工智能机器人技术**



资料来源：粮农组织为本报告编制。

手动技术和畜力牵引仍会发挥重要作用。畜力牵引可以是小规模、散地块农场的重要动力来源，而较为先进的手动工具可以减少对人力的需要。在很多地区，耕畜役畜和先进的手动工具都可以弥补劳动力缺口，有助于提高作物产量，支持农田扩张。很多情况下，这些方法是增加动力供给的最可行方案。

## 投资数字自动化的商业逻辑

投资农业技术的商业逻辑在于私营部门能否盈利。只有收益高于成

本时，供应商和生产者才会做出必要的承诺。对某些技术和特定条件来说，私营部门的投资成本可能会超过收益；但对整个社会确是十分有益的。这种情况下，可以借助公共干预让私营部门收益与整个社会受益协调一致。

由于数据匮乏，本文基于对数字自动化服务提供商的访谈，通过 27 个案例研究分析了农业数字自动化的商业逻辑。案例研究涵盖了所有区域和各类农业生产体系（作物、畜牧、水产和农林），以及不同的商业化

阶段，很多仍处于开发和商业化的初期（图 6）。分析结果表明，27 家服务提供商中只有 10 家能够保证财务可持续。这 10 家服务提供商大多集中在高收入国家，所采纳的解决方案处于成熟阶段（即广泛采纳），且多数服务于大规模生产者。在超过三分之一的案例中，农民的获益主要体现为生产率提高、效率提升和新的市场机遇。总体而言，分析结果表明，数字自动化技术的商业逻辑尚不成熟，一部分原因是很多此类技术仍处于原型阶段，另外也是因为技术采纳仍然面临较高壁垒，特别是在低收入和中等收入国家。

案例研究中可以汲取很多重要的经验教训。推动技术采纳的关键因素首先是了解一种解决方案在顺畅完成农业作业方面的能力，其次是农民对于这种解决方案的掌握能力。经常出现的障碍包括缺乏数字技能，连通性差，以及电力供应不足。除此之外，还有抵触变化的心理，通常是年老的农业人口，因此青年农民往往被视作实现自动化转型的有益力量。另一个关键因素是市场条件——生产者之间竞争有力会促使他们承担更大的风险，采纳可能提高生产率和

效率的新技术。制约性因素包括对技术进口的监管、数据共享政策缺位，以及公共政策和激励机制不足。另一方面，若设计得当，法律法规和公共支持可以成为技术采纳的强大动力。

## 农业自动化会带来环境效益，但需要开展更多的研究

在高收入国家，以及低收入和中等收入国家的很多商业化农场中，农业机械化水平已经很高，主要依赖大型农机的使用。然而，此种机械化模式带来了土壤侵蚀、森林砍伐和生物多样性损失，而所有这些因素都在削弱农业韧性。自动化技术创新有助于应对这些挑战。例如，可从小型、轻量机械（如小型四轮和两轮拖拉机）着眼，因地制宜地改造机动机械化。小型机械化无需实质性清理和改造农田，因而会尽量减少生物多样性损失。动力除草机和移动式脱粒机等其他小型机动机械也可以对改进性别平等做出贡献，因为妇女可以便捷地操作这些机械。

支持精准农业的数字自动化技术有助于推动采纳可持续做法的技术，例如保护性耕作。使用计算机

**图 6 数字自动化技术推广条件的成熟程度**



注：UAS 即无人飞行系统；IoT 即物联网；AI 即人工智能；FMIS 即农场管理信息系统；MV 即机器视觉；GNSS 即全球卫星导航系统；VRT 即可变速率技术；RS 即遥感；DS 即决策支持。商业化程度分为四个阶段：（1）原型 — 概念已经在有限的试验中得到测试和验证；（2）接近市场 — 解决方案在真实生产环境下可以发挥功能，服务提供商正在研究一种或多种商业模式以开发客户；（3）推广 — 解决方案已被多个最终用户 / 客户采用，并且形成了一个或多个盈利的商业模式；（4）成熟 — 解决方案有专门的客户群，形成了一个或多个盈利的商业模式，并且需求在不断增长。  
资料来源：Ceccarelli 等，2022。

和物联网进行自动化温室管理已有很多成功先例，在节水和节约其他投入品方面表现优异。小型集群机器人技术在某些环境中已具备商业可行性，能够减少农药和除草剂的

使用，优化投入品使用，减少土壤压实。

这些环境效益目前只局限在特定区域；此外，很多解决方案仍然处

于开发和商业化的早期阶段。因此，还应扩大对其的研发和投资。转向可再生能源也很重要，能够为动力自动化创造新的机遇，特别是在农村偏远地区。但无需赘述，还是要进一步开展研究，摸清哪种离网可再生能源解决方案能够最高效地为各类农机提供动力。

## 农业自动化对劳动力和消费者的影响

评估农业自动化对就业的整体影响十分困难，这需要收集海量数据，跟踪所有的转型过程以及工人的重新配置，不仅仅是农业活动，也要涵盖上游和下游。随着农业转型的推进，很多人离开农业去寻找薪酬更高的就业机会，农业人口比重逐年下滑。当农业粮食体系的所有节点同步变化，要厘清农业自动化对劳动力市场和社会经济状况产生的具体影响几乎是天方夜谭。

农业自动化对农场就业的影响不一而同（图 7）。随着很多任务被自动化取代，低技能劳动力需求可能会呈缩减态势。与此同时，自动化也刺激了对熟练工人的需求。从农业粮食

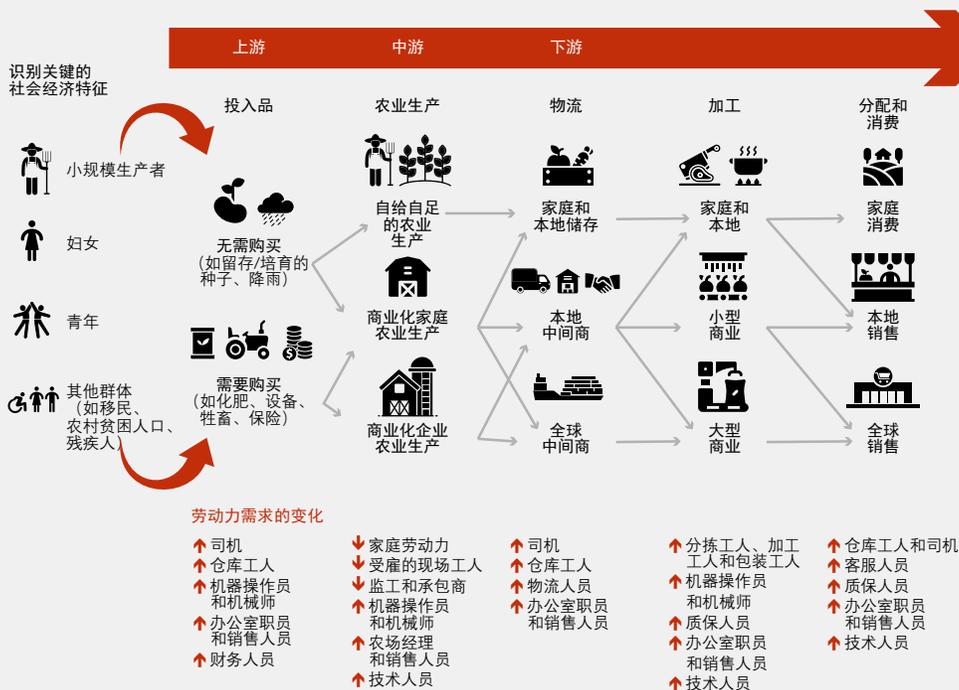
体系整体来看，自动化会减少薪酬较低的季节性农场就业，但会刺激上下游行业增加薪酬高的非季节性就业机会。

自动化带来的影响在不同类型的农场中也有所区别。对小规模和生计型农民而言，自动化可以解放家庭劳动力，同时促进扩大生产规模。在商业化家庭农场中，自动化可以解放家庭劳动力，减少对雇佣劳动力的需求；但若商业性农业活动在自动化的助力下有所增多，则对雇佣劳动力的需要可能会不降反增。企业商业化农场自动化水平最高；相应地，农场劳动力的需要也会随之减少。

若采纳自动化的原因是工资上涨、劳动力短缺，则自动化会促进劳动生产率和工资水平的提高，但不会带来失业。若推行自动化的背景是劳动力充足，而且是通过补贴人为拉低成本，那么就会面临引发失业的严重风险，而受影响最大的自然是那些技能最低、无法另谋出路的劳动力。

农业自动化会对消费者产生显著的社会经济影响，因为自动化会降低食物成本，创造更多对消费者有

图7 从农业粮食体系的视角看自动化对就业的影响



资料来源：粮农组织根据 Charlton、Hill 和 Taylor 编制，2022。

益的创业机会。例如，让难以自动化且富含营养的传统作物再度焕发活力，以及降低有机食品的生产成本，而目前有机食品的生产需要很多劳动力。

## 农业自动化进程必须具备包容性

农业自动化必须让所有人参与其中，尤其是小规模生产者、牧民、渔民和林农，此外还包括农业计酬工

人、非正式微型企业和工人、失地群体以及流动劳工。妇女、青年和残疾人群体置身其中尤为重要。

农场自动化的性别影响非常复杂。由于在获取资本、投入品和服务（如推广和信贷）方面处于弱势，某些情况下甚至还有文化规范的影响，女性在农业技术采纳方面不及男性。政策制定者需要倡导考虑性别因素的技术研发、推广和服务。

青年农民往往是最先拥抱技术的先行者。农业自动化催生新的技能，需要实施人力资本开发和能力建设议程，促进由低技能手工劳动向更为复杂的劳动转变，在此过程中尤其要重视青年。然而，惧怕自动化会造成大量工人失业显然是没有依据的。农业操作自动化，以及与之伴生的农业劳动力结构发展，是一个循序渐进的过程，各个地区、各类作物和各种农业任务都会有所差别。对于能够以低成本自动化轻易替代的劳动密集型农业活动，采纳节省劳动力的自动化技术动机最强。随着部分农业活动实现自动化，其他活动就会需要更多劳动力。

若现有自动化技术只迎合大规模作业，则小规模生产者因为达不到规模经济门槛，就很难立于不败之地。不限规模的低成本自动化的关键是全面普及。限制自动化以求保住农业就业和农民收入只会让农场在竞争中处于不利，无法扩大生产规模。若无法通过技术变革提高劳动生产率，那么贫困农场工人摆脱贫困、实现粮食安全的前景就会变得十分渺茫。

## 高效、可持续、包容的农业自动化路线图

农业自动化在促进以集约但可持续的农业为基础的可持续和包容性农村发展方面具有很大潜力；然而，这种潜力不会自动变为现实，而是会取决于具体的社会经济背景，以及农业自动化所处的政策和制度环境。实体、经济、法律和社会基础设施均已到位，能够支撑数字自动化的国家会占得先机。

同任何技术变革一样，农业自动化必然会带来某些颠覆，既会有人坐享其成，也会有人权衡利弊。本报告提出多种政策、制度、法律和投资方案。这些因素综合在一起，形成一份

路线图，确保农业自动化有助于建设高效、多产、可持续、有韧性和包容的农业粮食体系（图8）。某些方案聚焦于营造有利的商业环境，尤其是就自动化技术投资而言。这些措施要辅以法律法规，确保技术顺应环境可持续性和气候韧性要求。最后，各项政策和计划必须就位，确保所有人，尤其是边缘化群体，都能获益于此过程。

政府还要权衡经济、环境和社会目标，基于所面临的挑战和本国能力对各项行动安排先后次序。政府干预的一个重要跨领域维度是一般性服务支持，即通过政府行动为农业和农业粮食体系营造有利的商业环境，但又不会扭曲激励机制，或偏向某些行为主体（或某些农业部门）。

## 以农业为着眼点的政策和干预也会影响自动化技术的采纳

农业政策可以帮助克服技术采纳的阻力，尤其是对小规模生产者而言。政府可将信贷政策直接与农业自动化挂钩，鼓励技术采纳。投资贷款是推行自动化技术过程中最为常见

的融资方式，例如基于合同的证券、贷款担保制度、连带责任小组、租赁以及配套赠款。此外，不会扭曲市场的专项补贴也可以有一席之地。加强土地权属保障非常重要，因为若土地权属没有保障，生产者就无法用地契作抵押来申请信贷。减少机械、数字化设备和零部件的进口关税，简化通关程序，也有助于降低自动化技术的交易成本。

弥补数字技能缺口需要开发人力资本，例如借助职业培训中心的数量。制造商、所有者、操作者、技术员和农民的知识与技能都要加强，其中青年是重中之重。改善农业推广和农村咨询服务也有助于技术采纳。公共推广服务在确保包容性的农业自动化进程中始终发挥着重要作用；然而，缺少训练有素的推广人员是多数低收入和中等收入国家面临的主要瓶颈。

政府可资助或开展研发活动，尤其是适应本地需要、适于小规模生产者的自动化解决方案。精准农业解决方案影响评估是一个重要的研究课题，要对方案的营利性、环境可持续性以及包容性开展分析。更加适合本

**图 8 负责任利用农业自动化的政策选择路线图**



资料来源：粮农组织为本报告编制。

- » 地情况和小型农场的小型机械和低技术门槛的数字解决方案要作为研究重点，例如交互式语音应答、非结构化补充服务数据以及短信息服务。

最后，政府要制定质量保障和安全标准，可以交由公立机构、市场或第三方部门组织进行管理。自动化安全法律法规要充分征询所有利益相关方的意见，必须做到透明，确保合规。

## 农业粮食体系之外的政策、制度和投资

并非立足于农业粮食体系的一般性政策和投资可以营造出有利环境，包括基础设施。改进落后的道路基础设施可以降低获取机械、备件、维修和燃料的交易成本，催生服务市场。投资建设能源基础设施也同样重要，例如开发可再生资源的离网电力。利用本地投资开发可再生能源有助于抵御能源市场冲击和燃料价格波动。

改善农村地区的通讯基础设施和互联网连通状况对于农业自动化顺畅运转至关重要。法律也可发挥重要作用

—— 倡导公立-私营-社区三方合作，改善连通状况和相关基础设施，提供数据服务和支持。投资还应关注相关的支持性基础设施，例如天气预报公共数据集，以及农业生产日历。

此外，机构、宏观经济状况以及更加宽泛的制度能力对于农业自动化的采纳都非常关键。完善信贷市场对于自动化技术融资非常重要，尤其是对小规模生产者而言。制度和政治能力需要加强，引导自动化技术的开发。若实力强大的私营技术企业抢占先机，就可能会产生不利影响，进而波及整个社会。另外，透明的国家数据政策（包括数据保护、数据共享和隐私规范）本身也有助于数字自动化的推进。其他有利因素包括建设国家数据基础设施，推动互联互通，即机器之间实现精准、可靠的通讯。最后，汇率政策和贸易政策也可能通过机械、数字化设备和备件进口价格影响自动化格局。

## 农业自动化助推建设包容、可持续的农业粮食体系

农业自动化面临三重挑战：不让任何边缘化群体掉队；避免失业

增多；预防环境损害。相关政策可为应对这些挑战助一臂之力，确保自动化技术推动包容、可持续的农业转型。

首先，政府要确保妇女、青年及其他弱势群体能够从自动化进程中受益。着眼于帮助妇女应对困境的政策（例如改善妇女的土地权利，或支持妇女获取信贷和推广服务）也有助于增加妇女对自动化技术的获取。公共研发活动应考虑到妇女的需要，重点攻关性别友好型机械化技术。此外，还需要制定面向农村青年和其他弱势群体的议程，确保他们掌握必要的技能，能够从事自动化相关的高技能工作。

其次，政府要防范自动化技术对就业造成的不利影响。若自动化进程由市场因素触发（如农村工资水平提高），且取代的是没有薪酬的家庭劳动，就不大可能造成失业。与之相反，若自动化进程是由政府行为刻意为之（如补贴机械进口），就会取代某些工作，引发失业，降低农村工资水平。因此，政策制定者不应在时机未到时刻意倡导自动化。反之，政策制定者也不应以自动化会取

代劳动力、引发失业为由限制技术采纳。通过一般性服务支持提供公共或集体产品——这种政策支持最有利于自动化进程平稳推进，不会引发失业。此类措施包括支持农业研发和知识转让服务。

再次，政策要确保农业自动化有利于建设可持续、有韧性的农业粮食体系。精准农业等更为先进的数字自动化技术可以尽量减少甚或完全避免机械机械化给环境带来的负面影响。应用型技术和农艺研究课题应探索最适于本地农业生态条件的自动化解决方案，政府则应促进采纳环境友好型技术。

总而言之，若上述挑战得以妥善应对，农业自动化就会成为助推力量，支持实现可持续发展目标，尤其是目标 1、2、3、9 和 10。技术的适当组合，以及适度的政策、干预和投资，将取决于很多因素，包括经济发展水平、当前制度安排、本地农业特点以及政策制定者的具体目标。在综合运用政策工具实施具体行动之前，政策制定者要认识到技术采纳背景的具体特点，评估某个地区面临的具体问题（如连通性、不平等、贫困、粮食不

安全、营养不良)。采纳何种技术应  
由农业生产者自行选择,而政府要做  
的是营造出包容的有利环境,为创新  
提供沃土。■





# 2022

# 粮食及农业状况

## 运用农业自动化 推动农业粮食体系转型

自二十世纪初以来，自动化便一直与全球农业相生相伴。机械机械化成效斐然——提高生产力，减轻繁重负担，提升劳动力配置效率，但同时也带来了一些不利的环境影响。近年来，数字农业自动化技术方兴未艾，一方面有望进一步提高生产力，增强韧性，另一方面也能兼顾以往机械化作业带来的环境可持续性挑战。

《2022年粮食及农业状况》探究农业自动化的驱动因素，包括新兴的数字技术。本报告基于27个案例研究，分析了全球各类农业生产体系采纳数字自动化技术的商业逻辑。报告指出了阻碍此类技术得以包容性采纳的各种障碍，尤其是小规模生产者面临的障碍。主要障碍包括数字技能不高，缺少有利的基础设施，如通网和通电，此外还有资金限制。本出版物基于分析提出，相关政策要确保发展中区域的弱势群体能够从农业自动化进程中受益，且自动化进程要有利于建设可持续、有韧性的农业粮食体系。



《2022年粮食及农业状况》  
(全本 — 将于2022年12月发布)



保留部分权利。本作品根据署名—非商业性  
使用—相同方式共享3.0政府间组织许可公开。



©粮农组织, 2022年  
CC2459ZH/1/1.1.22