

## 我国工厂化农业技术的导向性研究

祝华军<sup>1</sup> 田志宏<sup>2</sup> 郭志伟<sup>3</sup>

(1. 同济大学 现代农业科学与工程研究院,上海 200092; 2. 中国农业大学 经济管理学院,北京 100083;  
3. 科技部农村与社会发展司,北京 100862)

**摘要** 从发挥比较优势的角度出发研究了我国工厂化农业技术与其他生产要素之间的关系。提出:特定品种的设施环境技术和生产作业技术不再是制约我国工厂化农业效益提高的主要因素;技术发展的方向是能够提高土地产出率和劳动力利用率的原创性种子种苗技术和采后加工处理技术,其他技术的发展应以具备国际竞争力的特色品种为中心开展;对劳动力具有极强替代效应的自动化生产技术目前需求不强,应作为一种长远技术储备酌情超前发展。

**关键词** 工厂化农业;技术;生产要素;比较优势

中图分类号 F323.1

文章编号 1007-4333(2003)04-0090-05

文献标识码 A

### The research on guidance of industrialized agriculture technologies in China

Zhu Huajun<sup>1</sup>, Tian Zhihong<sup>2</sup>, Guo Zhiwei<sup>3</sup>

(1. Modern Agriculture Science and Engineering Institute, Tongji University, Shanghai 200092, China;  
2. College of Economic & Management, China Agricultural University, Beijing 100083, China;  
3. Country and Social Development Department of Ministry of Science and Technology, Beijing 100862, China)

**Abstract** Based on the advantage of comparison, the relationship between industrialized agriculture technologies and other production essentials was analyzed. The authors bring forward the idea that the technologies of agricultural facilities environment for certain cultivars and manufacture technologies are no longer the major obstacle in improving the benefits of industrialized agriculture in China; the direction of technology is to originally develop the seeds and seedlings and the post-harvest processing technologies which can increase the yield and labor force usage; other technologies should be developed around the cultivars with intentional competence based on China's particularity; the need of automation that will take the place of labor is weak in China, therefore, it should be developed carefully as a long term technologies repertory.

**Key words** industrialized agriculture; technologies; produce factor; comparative advantage

我国农业已经进入了农产品供需基本平衡、丰年有余的新阶段。在新的发展阶段,调整农业结构、提高农业的质量和效益及增加农民收入成为农业和农村经济工作的中心任务,工厂化农业正是在这一背景下被凸现出来的。高投入和高技术是工厂化农业的两个重要表征,从经济学角度看,国外工厂化农业最本质的特征就是通过资金和技术密集替代土地和劳动力要素,提高土地和劳动力的边际生产效率,

并使产品在可控环境下稳定地达到预定标准。

我国引进发展工厂化农业时同样提出了要以科技作为工厂化农业发展的先导,并一直将关键技术作为科技攻关的重点,经过“九五”和“十五”国家科技攻关,我国工厂化农业关键技术已经取得了很多成果:国内选育的番茄、黄瓜、辣椒等的产量、抗性等指标已接近国外品种;在设施、节能、节水、生物防治和环境控制等生产技术方面与发达国家的差距缩小

收稿日期:2003-01-30

基金项目:国家“十五”科技攻关计划研究课题“我国工厂化农业发展战略与管理创新研究”(2001BA503B11);国家自然科学基金重点课题(70133001)

作者简介:祝华军,硕士,主要研究方向为现代农业工程技术与农村社会发展

了,制造和运行成本也低于从国外进口的同等产品,有些技术指标甚至优于发达国家<sup>[1]</sup>。但是,我国工厂化农业效益不高也是不争的事实。种种数据和报告表明,经过科技攻关,设施和生产技术以及示范选育出的特定品种不再是我国工厂化农业效益不高最主要的制约因素,导致我国工厂化农业效益不高的主要原因在特定品种的生产环境和生产过程之外。这充分说明需要深入研究我国工厂化农业科技攻关的导向性,提出我国需要发展的技术类型,以指导工厂化农业的技术攻关。

## 1 工厂化农业技术的经济学特性

本文中讨论的技术主要是生产性技术,而不是消费性技术。这两类技术发展的动力是不一样的,消费性技术变革的动力是对生活方式改变的需要,即通常所说的(消费)市场拉动;而生产性技术发展的动力是为解决资源约束的生产需要推动。在工厂化农业技术发展的导向性上,必须围绕我国现实的资源约束。

工厂化农业属于高投入高科技行业,工厂化农业企业所需要的技术投入是巨大的,这一方面可能会导致总成本的增加,另一方面可以提高产品质量,可能但不一定能提高劳动生产效率,因为劳动生产效率除了技术水平约束之外还受其他生产要素的约束,最短缺的生产要素最终决定了劳动生产效率的高低,因此工厂化农业的经济效益也不一定会随技术投入的增加而提高。这就要求辩证地看待技术与其他生产要素之间的关系。如果一味追求低成本控制,则科技含量受限,其生产方式、组织形式、管理手段、设备配置等都不能体现出整体竞争实力和优势,经济效益自然上不去;如果一味追求高技术投入,则可能导致我国农业的劳动密集优势丧失,经济效益上不去。这与科技在生产要素组合中的特点有关。

各生产要素之间不同比例的搭配,一方面可能因为甲要素的增加使得乙要素得以充分利用从而促进产量的提高,另一方面又可能因为产生边际替代而并不增加产量甚至减少产量。这是因为技术既可以作为一个前提条件,又可以作为替代性生产要素来对待,主要取决于技术是何种类型的。第一种情况是,技术本身会导致对某些生产要素的替代,技术水平越高,就意味着放弃更多的被替代要素,如生产工具自动化技术可以对劳动力产生挤出效应,越是高技术高效率的工具,对劳动力的挤出就越多,而且

在单位土地面积上的产量并不一定增加;若技术成本比劳动力成本高,甚至会在既定产量下增加总生产成本,这种技术替代就是得不偿失的。第二种情况是,技术本身与生产过程没有替代关系,如种子技术,本身并不挤出土地,也不挤出劳动力,只是置换了原有的生产对象,那么这种技术就可以作为前提条件来对待,这种技术水平越高,越能发挥土地和劳动力等其他生产要素的作用,从而提高产量。

如图1所示,若技术作为一种替代性生产要素,则技术投入由 $T_1$ 提高到 $T_2$ 时劳动力将由 $L_1$ 减少到 $L_2$ ,而总产量仍维持在 $Q_1$ 水平;若技术投入是一种前提条件,则当技术水平由 $T_1$ 提高到 $T_2$ 时,劳动力投入将由 $L_1$ 增加到 $L_2$ ,技术的发展吸引了更多的劳动力,这使总产量也增加到 $Q_2$ 水平。我国工厂化农业科技发展的方向目前显然不是要去替代劳动力,而应是后者,即通过科技创造更多劳动机会,缓解农村就业压力,提高农业总产量(或产值),至于远期技术的发展方向,则要视我国农村城市化的进程而定,当农村劳动力开始出现短缺时,替代劳动力的自动化技术才有发展的实际需要。

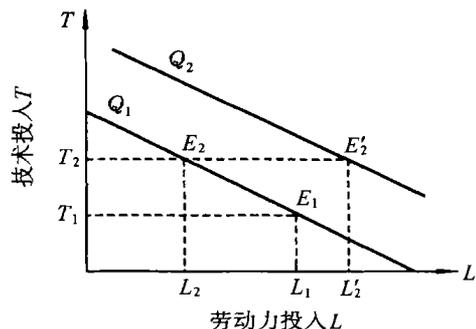


图1 技术与劳动力的等产量曲线

Fig. 1 Constant-yield curve for the technology and labor

## 2 工厂化农业技术发展的国际比较

随着科学技术的发展,工厂化农业技术研究向纵深进一步发展。根据工厂化农业生产力要素,劳动力、土地、生产对象(产品种类)、劳动工具(技术)和管理(组织形式、市场)之间的位次关系,就技术偏重性在设施技术、生物技术、运行控制技术、标准化技术等方面作出选择,有如下几种可能性:1)种子生物技术主导型;2)设施环境技术主导型;3)栽培生产控制技术主导型;4)产后环节技术主导型。我国工厂化农业应该推进哪种技术类型?针对这一问题以下进行工厂化农业技术的国际比较(表1)。

表 1 工厂化农业技术的国际比较

Table 1 International comparison of the industrialized agriculture technology

国家	耕地		农业劳动力		资金		技术类型
	数量	成本	数量	成本	数量	成本	
中国	稀缺,人均 0.1 hm <sup>2</sup>	较高	丰富,农业劳均耕地 0.3 hm <sup>2</sup>	低	稀缺	高	
荷兰	稀缺,人均 0.12 hm <sup>2</sup>	高	稀缺,农业劳均耕地 4.7 hm <sup>2</sup>	高	丰富	低	种子、设施环境(材料)、生产控制(自动化)、产后技术(保鲜储运)
以色列	稀缺,人均 0.1 hm <sup>2</sup>	高	稀缺,农业劳均耕地 6 hm <sup>2</sup>	高	丰富	低	种子、设施环境(节水)、生产控制(自动化)
日本	稀缺,人均 0.04 hm <sup>2</sup>	高	较稀缺,农业劳均耕地 1.3 hm <sup>2</sup>	高	丰富	低	种子、设施环境(构造)、生产控制(自动化)、产后技术(保鲜加工)
法国	丰富,人均 0.3 hm <sup>2</sup>	低	极稀缺,农业劳均耕地 17 hm <sup>2</sup>	高	丰富	低	生物(种子、灾害防治)、设施环境(节能)、生产控制(无土栽培)
美国	极丰富,人均 7.1 hm <sup>2</sup>	低	极稀缺,农业劳均耕地 70 hm <sup>2</sup>	高	丰富	低	生物(种子、基因、灾害防治)、尖端技术(储备用)

荷兰是世界上温室种植生产最发达的国家,发展设施农业,是荷兰用资金替代土地,发展高效农业的一项重要措施。荷兰高效农业生产的特点可归纳为:始终注意发展提高土地生产率的技术,以单位土地产值最大化为其主攻目标,充分利用资金替代土地,增加土地资源,发展高效外向型创汇农业,大力发展农产品加工产业,对农产品进行深度加工增值。荷兰的温室主要为玻璃温室,较少采用塑料大棚,以天然气为能源,温室多集中成片,玻璃温室的面积约为 1.4 万 hm<sup>2</sup>,占世界温室总面积的 1/4 以上,居世界第 1 位,其中花卉和蔬菜栽培面积约各占 50%。温室设施齐备,生产过程包括供暖、通风、降温、灌溉、施肥、喷药、土壤消毒等全部用计算机控制和调节,机械化和自动化程度相当高<sup>[2]</sup>。荷兰温室生产水平很高,其主要原因是:开发了高产的品种,荷兰境内有 130 多个种苗专营公司,良种资源有强大优势,在脱毒、快繁等方面有很高的技术水平;普及无土栽培技术;提高了设施和环境管理水平;充分利用昆虫授粉和天敌治理虫害技术;开发和普及计算机智能化温室综合环境控制系统等。由于资金的大量投入,提高了温室农产品质量,突破了产量瓶颈,也就是说资金投入使技术水平上了一个新的台阶,从而使得荷兰工厂化农业资金投入的边际效应为正值,有效地利用了土地和劳动力要素。

为了提高产量和品质,以色列的科学家不断开发和生产新的品种,以色列的蔬菜种子不仅满足以

色列温室生长的需要,还向国际市场出口,仅西红柿就开发出 40 多个品种,每年的种子出口额达 3 000 万美元,欧洲 40% 温室种植的西红柿使用以色列开发生产的种子<sup>[3]</sup>。同荷兰一样,以色列也是在极度稀缺的土地上投入大量的资金和技术装备,营造适宜农产品生产的环境,获得高产量。

日本也是设施园艺发达的国家之一,与荷兰相比,最大的不同点是塑料温室占温室总面积的 90% 以上,而造价昂贵的玻璃温室比例很小,这是日本发展工厂化农业追求低成本的结果。日本农业面临经营者高龄化和后继乏人的局面,对自动化生产作业和作业环境的改善特别关注<sup>[4]</sup>,因此研究开发了多种小型、轻便、多功能、高性能的设施园艺耕作机具、播种育苗装置、灌水施肥装置、通风窗自动开闭和温湿度调节装置、二氧化碳施肥装置以及自动嫁接装置等。对产品的产后加工和市场营销环节实施高投入也是日本发展工厂化农业一个特点,使用高新技术对温室产品深加工和包装,进行广泛有效的宣传,获得了很好的增值效果。

土地资源和劳动力稀缺而资金丰富的荷兰、日本、以色列等国的工厂化农业技术以提高土地单产的种子技术和替代稀缺劳动力的自动控制技术为重点,可以说是扬长避短的理性选择。而土地资源相对较丰富但劳动力稀缺的法国和美国则并不特别关心土地单产,其工厂化农业技术主要是为解决劳动力稀缺或者仅仅是作为一种体现国家农业科技实力

的象征。美国的温室从本国的实情出发,走出了与荷兰、以色列及日本都不同的发展道路。美国人均耕地面积大,温室作业人员需要管理的面积是我国的300倍<sup>[5]</sup>,其技术突破就主要关注自动化,以解决劳动力的不足。另外,由于美国气候类型多,可以露地生产的可能性大,而且高速公路、航空、水运都十分发达,寒冷季节可以依靠便利的运输从本国南方和南美洲(例如墨西哥)调运市场需要的蔬菜、花卉。冬天在南方露地生产番茄然后运到北方,比在北方用温室生产要便宜得多,南方地区生产新鲜农产品供应北方就成为主要来源,因此,美国温室未大规模发展。美国温室虽然规模不大,但其设备与生产水平都是世界一流的,而且在温室尖端技术的研究上也处于领先地位,多数是玻璃温室,少数是双层充气的塑料薄膜覆盖,基本上是连栋智能温室。温室设备齐全,配置有供热系统、降温水帘等。温室光照、温度、湿度、二氧化碳等环境因子的调节专业化程度很高,社会化服务十分周到。美国对工厂化农业尖端技术的研究非常重视,例如开展了工厂化农业自动循环生产技术的研究,已有农业生物智能机器人操作的全自动的工厂化农业设施<sup>[6]</sup>。尽管美国工厂化农业科技发达,但实际种植面积却不大,可以说这些技术仅仅是一种技术储备而已。

从以上比较中可以发现,各国的一个共同点就是把种子技术摆在重要位置。原因是,种子是农业生产特殊的、不可替代的生产资料,是其他生产要素发挥作用的基本载体,是农业优质高产高效的内因。而在其他环节的工厂化农业技术上则出现了不同的发展重点,这些差异是各国综合考虑了自身优劣势之后的理性选择,因为生产性技术是用来弥补劣势而不是用来替代优势的,这也是为什么各国农业发展道路不同的原因。荷兰没有学习美国用大型机械代替人力作业,日本也没有学习以色列的节水技术。因此,我国的农业技术发展也必须结合自己的国情,不能跟在其他国家后面盲目研究别国需要的技术,否则我们的技术在中国就没有实际应用意义。

### 3 我国工厂化农业技术发展的方向

我国土地稀缺,劳动力丰富且成本低,支撑技术研究和应用所需的资金稀缺且使用成本高(以资金的影子价格作为其使用成本),因此,从发挥比较优势的角度出发,我国工厂化农业的技术类型总体上

应该是优先考虑提高土地产出率和发挥劳动力密集优势,这决定了我国工厂化农业优先发展的技术类型应该是能够提高土地产出率和劳动力利用率的种子技术和采后加工处理技术;而对劳动力具有极强替代效应的自动化生产技术目前不具备现实需求,只应作为一种长远技术储备或者在东部某些出现农业劳动力不足的地区酌情超前研究。

工厂化农业的具体技术包括育种、栽培技术,设施结构与材料、设施内环境条件的调节控制技术与设备、病虫害防治、采后处理、环境保护等各个领域的硬软件技术。根据各种技术对土地和劳动力的影响,对提高质量和降低能耗的作用以及基础性和核心性等特性的比较,可以基本明确我国工厂化农业技术发展的方向及在不同发展时期的要求(表2)。我国近期需要发展的技术应该具备下列特征:1)明显提高土地产出率;2)明显提高产品质量;3)显著的基础性和公益性;4)不会大量挤出劳动力。选择远期发展技术则可以降低对劳动力挤出方面的要求,同时要注重技术本身在产业链中的核心作用。在技术投入支持方面,政府应注重对公益性和基础性技术的投入,企业则偏重于提高质量和劳动效率的技术投入。

无论是近期还是远期,无论是政府支持还是企业投入,种子种苗技术都是一个主要发展方向。必须说明的是,我国工厂化农业需要发展的种子种苗技术绝不是简单地引进国外品种使之本地化,而是要开发培育出我国具有自主知识产权的、具备国际竞争力的优质品种,要具有技术原创性。工厂化农业的设施、栽培、生产环境控制等技术也必须以我国具备国际竞争力的特色品种为中心开展科技攻关,而不能本末倒置,先研究好了某套设施设备、生产环境控制技术等之后再去寻找与之适合的品种,或者是随便选择一个国外成熟产品搞技术对比研究,得出我国工厂化农业的某项技术已经接近或者达到世界先进水平。这种典型的技术中心主义,把技术的先进程度作为研究的主要目标,而没有注意到技术是为产生效益服务的。

总之,我国工厂化农业的技术发展,应该跳出技术的圈子看待技术,明确技术是实现特色品种经济效益的手段而不是中心,只有围绕经得起市场竞争的特色品种进行的科技攻关才有发展的意义,相关的配套技术研究才有价值。

表 2 工厂化农业技术的特征及发展要求

Table 2 The characteristics and the development requirements of the industrialized agriculture technology

技术类型	对土地		对劳动力		其他特征					发展时间		主体与支持		
	替代	提升	替代	提升	提高质量	降能耗	基础性	公益性	核心性	近期	远期	政府	企业	
种子 种苗	种质资源与品种选育	/	+++	/	+++	+++	/	+++	++	+++	+++	+++	+++	+
	育种设施装置	/	+++	+	+	/	/	/	/	+	++	+	++	
	常规技术育种	/	+	/	/	+	/	+++	+	+++	+++	+++	+++	+
	生物技术育种	/	++	/	/	/	/	+++	+	+++	+++	+++	+++	+
	生物安全	/	/	/	/	+++	/	+++	+++	/	+++	+++	+++	+
栽培 作业 技术	有土栽培技术	/	/	/	/	+	/	+	+	/	++	+	+	++
	基质栽培技术	++	++	/	++	++	/	++	/	/	++	++	+	++
	营养液栽培技术	++	++	/	++	++	/	++	/	/	++	++	+	++
	嫁接移栽自动化	/	/	+++	/	/	/	+	/	/	+	++	+	++
	生物授粉技术	/	+++	++	/	++	/	++	+	/	+	++	+	++
	生物防治技术	/	++	++	/	++	/	++	++	/	+++	+++	+++	+
	杂草控制技术	/	++	+++	/	/	/	++	+	/	++	++	+	++
	CO <sub>2</sub> 施肥技术	/	++	+++	/	++	/	++	+	/	++	++	+	++
	补光技术	/	++	/	/	++	/	++	+	/	++	++	+	++
	灌溉技术	/	++	++	/	+	+++	++	+	/	+++	+++	++	++
	通风及温度控制技术	/	++	++	/	+	+	++	+	/	+++	+++	+	++
栽培制度	/	++	/	++	/	/	+++	+++	/	+++	+++	+++	+++	
采收 及采 后环 节	机械采收作业	/	/	+++	/	/	/	/	/	+	++	+	++	
	机械设备小型化	/	/	++	/	/	/	/	/	+	++	+	++	
	保鲜处理技术	/	/	/	/	+++	/	+++	++	++	+++	+++	++	+++
	包装技术	/	/	/	+	+++	/	++	+	/	+++	+++	+	+++
	分级筛选自动化技术	/	/	++	/	+++	/	+	/	++	++	+	++	
	储藏技术	/	/	/	/	++	/	++	/	/	++	++	+	+++
	运输流通	/	/	/	/	+	/	++	/	/	++	++	+	+++
	深加工技术	/	/	/	+++	+++	/	+++	+	+++	+++	+++	++	+++
	产品质量检测技术	/	/	/	/	++	/	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+
设施 与环 境控 制	覆盖材料	/	++	/	+	/	+	+++	++	/	++	++	++	++
	基质配置及消毒	+	++	/	++	+	/	+	/	+++	++	+++	+	+++
	喷、滴灌系统	/	+++	++	/	/	+	+	/	++	++	++	++	
	温室制造	/	++	/	+	/	+	+	/	++	++	+	+++	
	生长环境监测控制	/	+++	+	/	++	/	+++	/	/	+++	+++	+	+++
温室结构优化	/	+++	/	++	/	+++	+++	+	/	+++	+++	+	+++	
其他 技术	管理与控制软件	/	+	++	+	+	/	++	/	/	+	++	+	+++
	劳动强度和工作环境	/	/	/	+	/	/	/	/	/	+	++	+	++
	温室大型化与生长原理	/	++	/	/	/	/	+++	+++	++	++	+++	++	++
	环境改良	/	+++	/	/	++	/	+++	+++	++	+++	+++	+++	+
标准化	/	+	/	+	+	/	+++	+++	++	+++	+++	+++	+	

注：+ 表示具有该项特点或要求；++ 表示该项特点或要求明显；+++ 表示该项特点或要求强烈；/ 表示缺乏该项特点或要求尚不清楚。

## 参 考 文 献

- [1] 国家“九五”科技攻关课题组. 工厂化高效农业示范工程项目执行报告[EB/OL]. <http://www.cnsf.org.cn/zxbd/gchgxny,2002-05-30>
- [2] 中国农科院科技文献信息中心情报研究部. 九十年代荷兰农业科技发展水平[EB/OL]. <http://www.worldagri.com/reports/country/holandl.htm>. 96-019-04-03
- [3] 苑成刚. 对以色列农业考察与思考[J]. 南京农专学报, 1999, 15(1): 53~54
- [4] 何德功. 开发植物工厂机器生产作物[N]. 日本农业迈向自动化. 华南新闻, 2002-08-07
- [5] 魏勤芳. 工厂化农业的发展现状与展望[J]. 农村实用工程技术, 1999(8): 1~3
- [6] 邱仲华. 美国工厂化高效农业考察[J]. 农业工程学报, 1998, 14(增刊): 49~52