doi：10.19928/j.cnki.1000-6346.2021.5021

番茄工厂化栽培作业管理现状与效率提升路径

大型玻璃温室番茄工厂化栽培具有高投入、高产出、规模化、现代化、标准化、集约化、流程化和持续可控的特征。本文在调研的基础上，分析了我国大型玻璃温室番茄工厂化栽培作业在流程、效率、数字化管理等方面的现状；基于影响作业环节的作业时间、作业频次、空间位置及顺序等因素，提出了5个环节的优化工艺；根据樱桃番茄工厂化栽培的种植密度，提出了单位面积用工数量推荐配置；针对我国大型温室番茄工厂化栽培的效率和效益需求，提出了深入研究栽培作业管理和建立以种植者为中心的创新协作体系等发展建议。

王明媚[1]　张跃峰[1，2*]　李胜男[1]　黄松波[1]

（[1]北京华农农业工程技术有限公司，北京 100023；[2]农业农村部规划设计研究院，北京 100125）

自2015年以来，在政策引导、消费升级的驱动下，我国掀起了新一轮大型玻璃温室投资热潮。据中国农业机械化协会设施农业分会不完全统计，近5年新建的单体面积2 hm^2以上的文洛型玻璃温室总面积已达613 hm^2，遍及全国16个省（自治区、直辖市），平均单栋面积达到7 hm^2以上。大型玻璃温室环境调控能力强、工厂化生产条件充分，是诸多设施中的高端类型，但其建设投资大、相对能耗高，种植企业不易实现盈利，盈利模式大多仍处

王明媚，女，硕士，专业方向：设施农业，E-mail：mingmei16@sina.cn
* 通信作者：张跃峰，男，研究员，专业方向：设施农业装备研究开发、集成推广和产业发展战略，E-mail：zyf@besky.com.cn

收稿日期：2021-03-22；接受日期：2021-09-01
基金项目：国家重点研发计划项目（2017YFD0701500）

连接尽量采用粘接的方式，避免两幅保温被的接缝处漏风或漏雨。探索温室保温被自动控制方法和设备，有效降低劳动强度，实现温室环境的精准控制。

3.4　提升日光温室通风设施建设水平

为形成有效的自然通风，日光温室应增设底部通风口。顶部和底部通风口均由卷膜电机替代手动扒缝，通过环境自动控制形成智能通风设施，不仅可以节省人工管理成本，并且可以提供更适合作物生长的温度、湿度及CO_2浓度（张明阳，2020）。采用后屋面活动通风窗结合前部通风可充分利用后屋面的采光，提高温室内光照的均匀度，而且彻底解决了屋脊通风窗兜水的问题。

参考文献

谢欣．2020．铝箔隔热气泡膜复合保温被的研制与应用〔硕士论文〕．沈阳：沈阳农业大学：48-49．
张明阳．2020．日光温室智能放风设备研究应用与升级改造〔硕士论文〕．呼和浩特：内蒙古农业大学：46-55．
周长吉．2018a．中国日光温室结构的改良与创新（二）—基于主动储放热理论的墙体改良与创新．中国蔬菜，(3)：1-8．
周长吉．2018b．中国日光温室结构的改良与创新（一）—基于被动储放热理论的墙体改良与创新．中国蔬菜，(2)：1-5．
周长吉．2019．双膜双被水墙装配结构日光温室—记内蒙古农业大学崔世茂教授对高寒地区日光温室结构性能的探索与实践．农业工程技术，(3)：46-55．
周长吉．2020a．中国日光温室结构的改良与创新（四）—温室骨架形式的改良与创新．中国蔬菜，(7)：1-6．
周长吉．2020b．日光温室的形式与分类．农业工程技术，(11)：42-49．

《中国蔬菜》学术论文下载 www.cnveg.org

于探索阶段。为此，以经济效益为目标，从大型玻璃温室生产技术与管理融合的角度，总结生产实践中取得的经验，形成高效的生产及管理模式，具有很强的现实意义。

大型玻璃温室以种植蔬菜为主，且以番茄为优势作物。番茄工厂化栽培的主要特征是规模化、现代化、标准化、高投入、高产出和持续可控（李新旭 等，2018）。从工厂化要素视角看，大型温室番茄工厂化栽培还应具备集约化、流程化的特征。在未来一段时期，无论产品定位如何，我国设施蔬菜均面临着价格、质量、品牌等方面的激烈竞争。在生产成本中占有重要比重的人工成本对核心竞争力的影响日益明显，由控制人工成本而提升的综合效能也越来越显著。而只有实现工厂化栽培管理，才能更充分地发挥大型玻璃温室的作用，减少人工成本，获得应有的投资回报。为此，笔者于 2016—2019 年通过走访和电话征询等方式，对国内投入生产运营两年以上、单产和销售达到国内较高水平的大型连栋温室进行了调研，分析番茄工厂化栽培管理现状，针对存在问题提出发展路径及建议，以期为我国大型温室的生产运营管理提供参考。

1　番茄工厂化栽培作业管理现状

1.1　调研温室基本情况

从番茄生产面积、区域分布、产量情况及主要栽培工艺流程等方面，对北京、山东、甘肃等地已投产运营的 8 个大型连栋玻璃温室番茄生产企业进行调研。结果显示，温室中最小单体种植面积为 2.1 hm^2，最大单体种植面积为 25.0 hm^2（表 1）。种植的品种主要来自荷兰、日本、美国等国外蔬菜种子公司，国内品种种植较少。不同大型连栋温室同类型番茄单产差别较大，串收樱桃番茄产量在 15～30 kg · m^{-2}，中果型番茄在 40～60 kg · m^{-2}，大果型番茄在 40～83 kg · m^{-2}。

表 1　调研温室基本情况

地区	投产时间（年－月）	种植面积/hm^2	主要种植作物
北京大兴	2016-11	5.0	番茄
北京密云	2018-02	2.2	番茄
北京大兴	2018-12	2.1	番茄
山东临沂	2019-03	7.0	番茄
山东德州	2019-07	6.5	番茄
山东德州	2019-09	25.0	番茄
甘肃平凉	2017-09	10.0	番茄
甘肃张掖	2019-07	11.0	番茄、黄瓜、彩椒

1.2　栽培作业典型流程和特点

不同企业对番茄工厂化栽培工艺环节的分工基本相同，工厂化栽培作业流程总体上分为定植前准备、定植、定植后管理、采收 4 个阶段。定植前准备包括温室硬件准备及消毒、基质处理、安装挂绳、插滴箭、开排水孔；定植后的工艺流程主要包括打杈（抹侧芽）、绑蔓、卡环、绕秧（盘头）、疏花疏果、安装果柄夹、摘老叶、落蔓、熊蜂管理、采收，直至拉秧清园（图 1）。工厂化番茄定植时普遍选择六叶一心的番茄苗。

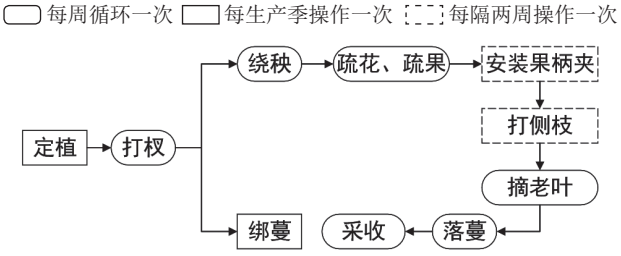


图 1　番茄工厂化栽培典型工艺主要流程

企业根据各自的种植技术和管理水平，会对番茄生产作业环节做出相应的增减、合并或顺序调整。如用安装卡环替代绕秧；对于单果质量在 20 g 以上或果柄过长的品种使用果柄夹，以防止果柄折断而影响养分运输和果实转色成熟；安装挂钩可以在定植前后灵活进行。

调研的温室普遍采用熊蜂授粉等绿色生产方式。定植后，除熊蜂管理和检查由技术人员负责外，其他每项农事操作均为 1 个工种，经过一定时间的磨合与整合后，由固定劳工来完成。每个工种一般以周为周期进行农事操作，也可根据实际工作效率、工人数量以及植株不同季节的生长量等调整工作量或周期。

1.3　多样化作业流程现状

调研发现，在大型玻璃温室番茄工厂化栽培中，用工量最大的 3 个环节是绕秧、疏花疏果、采收，尤其疏花疏果和绕秧环节的操作技术要求最高，且对植株生长和单产影响最大。在调研的 8 个温室中，每个温室定植后的作业顺序均有所不同。有的温室为节省用工成本会将打杈（抹侧芽）与绕秧环节合并，有的温室则把绕秧和落蔓进行明确划

《中国蔬菜》学术论文下载 www.cnveg.org

分，先绕秧再落蔓，或将两项农事操作合并为一个环节。不同温室同类作业的周期也有很大差别，介于 4～10 天不等。以上顺序差异和周期差异共同造成了流程差异，形成了不同的番茄工厂化栽培作业流程。通过走访调研，发现目前主要有 5 种常见栽培作业流程（图 2）。其中，各个环节的难易程度、作业位置、作业时间、作业频次和顺序关系见表 2。调研发现，栽培作业流程中部分工艺可进行顺序调整或合并（图 3），从而使流程更加优化。如打权与绕秧作业位置相同，而且在侧枝较小时容易完成，两项作业可由一人同时进行；疏花与疏果作业位置相同，同样可以由一人同时进行；摘老叶先于采收，可以防止叶片遮挡果实，影响采收效率；先绕秧后落蔓，则可减少因番茄生长迅速而造成的藤蔓弯折，降低绕秧的难度。

此外，鉴于不同温室各环节的操作规范、标准工时、用工量、工人培训程度和熟练程度等都不尽相同，导致番茄工厂化栽培作业效率、单产和品质等方面存在明显差异。

1.4　劳动力管理现状

调研发现，目前番茄工厂化栽培用工量较大，

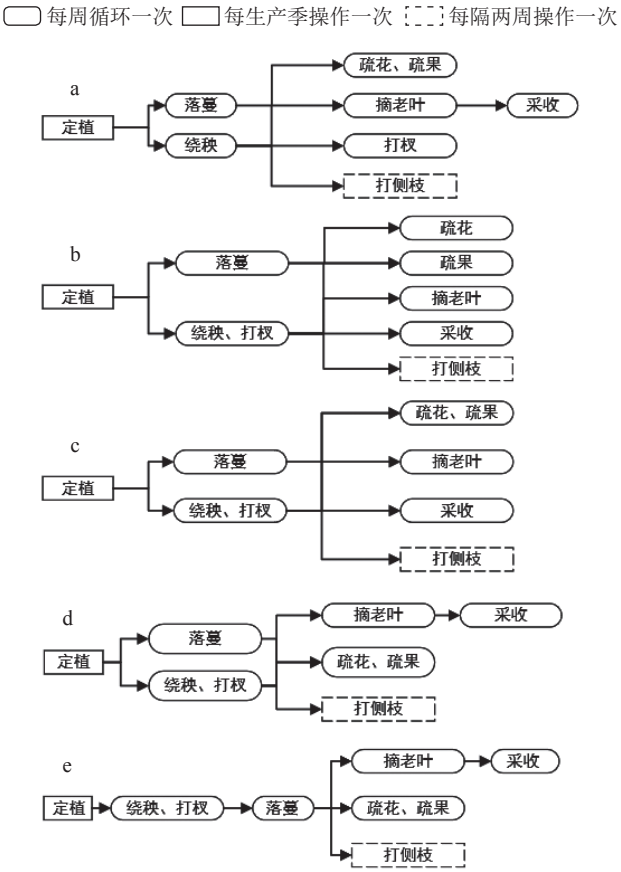


图 2　番茄工厂化栽培作业常见工艺主要流程

表 2　番茄工厂化栽培作业工艺环节主要特征

工种	作业难度	作业位置	作业开始时间	作业频次
打权	容易	植株生长点至其下方 30 cm	定植 1 周后	每周 1 次
绕秧	难	植株生长点至其下方 30 cm	绑蔓开始后	每周 1 次
疏花	难	植株生长点以下 2～3 序花	第 1 序花开放后	每周 1 次
疏果	难	植株生长点以下 2～3 穗果	坐果后	每周 1 次
摘老叶	中等	植株第 10～12 片功能叶以下	采收前 2～3 周	每周 1 次
采收	中等	栽培槽上方 20～50 cm	第 1 穗果成熟后	每周 1～2 次
落蔓	中等	植株生长点上方 30～100 cm	采收后 1～2 周	每周 1 次

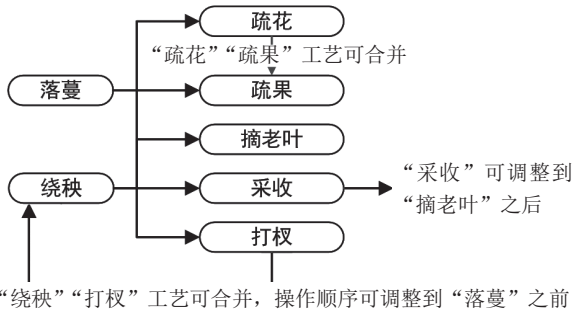


图 3　番茄工厂化栽培作业可调整、合并的工艺

大部分劳工为园区所在地附近村民，而园区内固定工以女性为主，少部分需要大量体力的工种则主要是男性。计划招聘人数一般为实际用工人数的 2～3 倍，甚至更多。招聘后要对劳工进行实操培训和筛选，根据每个工人的实际情况进行分工。通常情况下，80% 左右的劳工会从事固定的农事操作，20% 左右的劳工则属于灵活作业。为了激励劳工，固定工种一般采用计件的方式计算薪资，而灵活工种一般采用计时的方式。同时在作业过程中还需要不定时对作业情况进行监督和检查。

由表 3 可知，随着设施番茄温室单体面积的增大，用工量也越来越多。调研温室每公顷用工人数均在 5 人以上，最多可到 10 人以上。以单体种植面积 10 hm^2 的温室为例，固定的用工量在 70～80 人。而在番茄上市高峰期，部分温室还会

《中国蔬菜》学术论文下载 www.cnveg.org

大量雇佣采收和包装工人，用工量甚至能达到平时的 1.5～2.0 倍。

番茄工厂化栽培温室工人的平均年龄偏大，调研温室平均用工年龄均在 40 岁及以上，部分温室甚至在 50 岁以上，且工人文化程度均偏低，大部分只有小学、初中学历，导致在进行技术和规范培训、筛选、聘用、定岗和再培训等方面需要耗费大量的人力物力。由于劳工年龄偏大，且在栽培环节对工人是否能胜任未进行详细筛选，导致总体工作效率低。仅以采收为例，荷兰设施番茄（大果型）采收速度人均 360 kg · h^{-1}（农业农村部蔬菜生产机械化智能化生产培训团，2018），我国在同等设备配置的大型温室中仅为 300 kg · h^{-1}，比荷兰低 17%。除此之外，由于劳工整体的文化程度较低，番茄工厂化栽培过程中先进设备和软件的应用普及在一定程度上难度较大；部分温室为了更好地管理工人、完成作业任务，还会增设班（组）长一职。

表 3　番茄工厂化栽培用工及管理情况

温室样本	种植面积/hm^2	用工量/人	平均用工年龄/岁	文化程度 1)	是否有班（组）长	班（组）长职责
北京大兴	5.0	25	50	中小	无	—
北京密云	2.2	10	40	中小	有	负责下达工作任务、考核工作质量以及安排临时工作等
北京大兴	2.1	26	50	中小	无	—
山东临沂	7.0	85	45	中小	有	负责协助主管下达任务、检查工作质量等
山东德州	6.5	37	50～55	中小	有	负责支持工作，考勤、任务传达、检查质量等
山东德州	25.0	150	40～45	中小	有	负责协助主管考勤、质量检查、日常工作
甘肃平凉	10.0	80	40	中小	有	负责协助主管考勤、质量检查、日常工作
甘肃张掖	11.0	70	40	中小	无	—

注：1）“中小”指小学、初中学历。

1.5　数字化管理现状

目前番茄工厂化栽培作业管理已趋于数字化，主要体现在管理软件的应用。调研发现，安装和应用最多的数字化管理软件包括与温室硬件设备相连接的环境控制软件，与产品出入库、物流、销售相关的进销存和供应链管理软件，基于农业大数据和物联网的农业大脑，以及与财务管理、人事管理、劳工管理相关的软件等。所有调研温室均在使用不同种类的管理软件，其中环境控制软件是必不可少的。

由表 4 可以看出，不同温室管理软件安装数量差距较大，最多达到 7 个，最少只有 3 个，但均可以满足温室内生产运营的管理需要。但温室数字化管理也存在以下问题：一方面，数据不能共享分析。由于软件各自管辖一块，数字化管理的集中协同能力不足，使用人员会频繁更换管理界面，效率仍有很大的提升空间。另一方面，软件利用尚不充分。部分温室的部分软件属于闲置状态，其中闲置最多的为劳动力管理、农业大脑等软件。究其原因，一是劳动力管理属于对人的管理，不可控因素较多，在栽培作业环节劳工配置缺乏精准选择的情况下，难以按照软件要求管理，尤其是难以持续有效地实施管理。而其他大部分管理软件的管理对象

表 4　番茄工厂化栽培管理软件使用情况

温室样本	安装软件数量	安装软件种类
北京大兴	3	环境控制软件、人事管理软件、财务管理软件
北京密云	5	环境控制软件、劳动力管理软件、人事管理软件、财务管理软件等
北京大兴	—	环境控制软件等
山东临沂	5	环境控制软件、劳动力管理软件、财务管理软件、出入库管理软件、人事管理软件
山东德州	—	环境控制软件等
山东德州	7	环境控制软件、供应链管理软件、人事管理软件、财务管理软件、劳动力管理软件、生产线管理软件、农业大脑
甘肃平凉	5	环境控制软件、劳动力管理软件、进销存管理软件、人事管理软件、财务管理软件
甘肃张掖	5	环境控制软件、劳动力管理软件、进销存管理软件、人事管理软件、财务管理软件

注：“—”指数据不确定。

《中国蔬菜》学术论文下载 www.cnveg.org

主要为物、财，不可控因素较少，更容易实现数字化管理，能有效提高生产效率和管理效率，且较为直观，易于被管理者接受。二是农业大脑软件是基于农业大数据和物联网的数据分析工具，对于使用者的技术水平要求也较高。

2 提升路径

综上，我国大型玻璃温室番茄工厂化栽培管理模式尚处于探索阶段，在探索过程中，大多温室企业采用荷兰的无土栽培成套技术，借鉴荷兰的组织分工经验，同时结合我国国情，在劳动力、产品需求、生产资料价格等方面创建适合自身的管理模式，但目前还未达到预期目标。鉴于大型玻璃温室在工厂化管理方面的场景条件及运营目标存在相似性，且在栽培作业环节管理、劳动力配置与管理、数字化协同管理等方面具有相对一致的需求，因此普适性与差异性结合的栽培作业管理模式值得探索。通过管理模式的应用，能够有效提高作业效率和产品质量，达到精准控制生产成本、生产周期和产品质量的目的，从而为温室工厂化生产的效益提升提供发展空间。

2.1 运用科学管理方法优化作业流程

根据科学管理理论，科学地运用技术、流程和工具的不同组合，给岗位配备不同的员工和工具，并让员工严格遵循操作指令，可大幅提高工人的工作效率（罗宾斯和库尔特，2017）。对于我国刚刚步入工厂化生产理念实施阶段的大型玻璃温室，尤其是对于栽培作业的管理，通过利用科学管理理论进行流程再造和改进，将能大大提升生产效率。

目前设施番茄农事操作流程可概括为：挂黄带→挂挂勾→定植→系绳（绑绳）→打权→绕秧（盘头/绕秧）→疏花→疏果→摘老叶→落蔓→采收。

每个农事操作为一个工种，所有工种可分为一次性工种、重复性工种和间接性重复工种。其中一次性工种一般一个生长季只进行一次农事操作，包括挂黄带、挂挂勾、定植、系绳；重复性工种在整个生长季一般以周为单位进行持续操作，包括绕秧（盘头/绕秧）、打权、疏花、疏果、摘老叶、落蔓、采收；间接性重复工种在整个生长季根据植株生长情况进行操作，包括放果柄夹、打权和疏除残次果，例如打权一般1个月打1～2次。

疏花、疏果主要是疏除生长过密、发育不良的花和果，在大部分番茄生产温室中可进行工种合并，由同一工人完成。打权（抹侧芽）可分为打顶部权、中间权和底部权。其中打顶部权可以和绕秧一起完成，且打顶部权若完成较好，侧芽以及中间权、底部权会得到很好控制。故在部分温室中绕秧和打权会同时进行，部分温室会将打中间权和底部权作为计时工种。

综上可知，基于减少时间流线、空间流线和行走距离的需求，以及技能同质、劳动力特质要求等因素，番茄工厂化栽培中的农事操作可优化为五大项，即绕秧打权、疏花疏果、落蔓、摘老叶和采收（图4）。

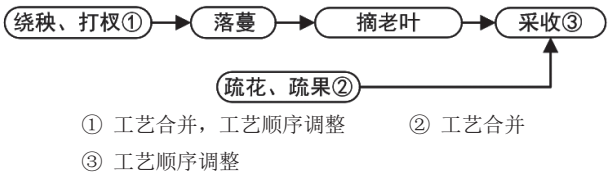


图4 番茄工厂化栽培推荐工艺流程

2.2 提升栽培作业队伍的管理水平

通过调研5家3 hm^2以上具有代表性的樱桃番茄工厂化栽培温室，得出目前各个工种的工作效率区间。同一工种、不同工人的工作效率差异很大，如摘老叶工种最高工效是最低工效的2.33倍（表5）。

表5 樱桃番茄工厂化栽培中工种的工作效率

头·h^{-1}·人$^{-1}$

工种	最低工效	最高工效
绕秧	500	900
打权	800	1 200
疏花疏果	800	1 200
摘老叶	600	1 400
落蔓	1 200	2 500
采收	120	150

对于重复性工种，工人的工作效率虽然受年龄、文化程度等限制，但通过定期技术培训，规范工种标准，对劳工进行有效筛选，同时借助劳动力管理软件进行农事任务的安排、实时追踪进展、检查结果等，可有助于提高劳工的工作效率。

2.3 优化单位种植面积用工量

以樱桃番茄工厂化栽培为例，在确定温室内番茄的种植密度、每个工种完成100头（番茄生长点）工作量的标准时间后，可计算出各个工种独立工作

《中国蔬菜》学术论文下载 www.cnveg.org

1 hm^2 所需的工作时长和 1 周（按 5 个工作日，每天 8 小时工作时长计算）完成 1 hm^2 种植面积所需要的劳工人数，继而得出每公顷种植面积所需用工数量（表 6、7）。从表 7 中可知，落蔓工种每公顷每周的用工量最少，绕秧的用工量最大，其次为摘老叶和疏花疏果。

2.4　提升数字化管理平台集成能力

大型温室番茄工厂化栽培是科技密集型、人才密集型的现代农业标志，数字化管理软件的应用能够大大提高生产效率，但应用种类过多的数字化管理软件反而会降低生产效率和应用效果。笔者认为，可将温室内数字化管理软件整合成三大系统：

表 6　樱桃番茄工厂化栽培各工种独立工作所需时长

工种	完成 100 头所需平均时间/min	完成 1 hm^2 所需工作时长/min			
		3.0[1)]	3.5[1)]	4.0[1)]	4.5[1)]
绕秧	7.7	2 310.0	2 695.0	3 080.0	3 465.0
疏花疏果	5.5	1 650.0	1 925.0	2 200.0	2 475.0
落蔓	3.0	900.0	1 050.0	1 200.0	1 350.0
摘老叶	6.0	1 800.0	2 100.0	2 400.0	2 700.0

注：1）指每平方米番茄生长点的数量（头 · m^{-2}），下表同。

表 7　樱桃番茄工厂化栽培用工配置推荐

工种	用工配置/人 · hm^{-2}			
	3.0	3.5	4.0	4.5
绕秧	1.0	1.1	1.3	1.4
疏花疏果	0.7	0.8	0.9	1.0
落蔓	0.4	0.4	0.5	0.6
摘老叶	0.8	0.9	1.0	1.1
每周总用工数	2.9	3.2	3.7	4.1

一是生产作业管理系统，对温室内与番茄栽培生产直接相关的环境和作业进行管理，包括环境管理、劳工管理、作业管理等；二是资源管理系统，对生产经营中的财务信息、供应链和生产资料、半成品和成品进行管理；三是经营决策辅助系统，主要指与温室整体运营相关的管理系统，包括温室可视化管理的驾驶舱、基于农业大数据和物联网的农业大脑、云平台等。资源管理系统是基础，生产作业管理系统和经营决策辅助系统是实现管理的手段，三个系统相辅相成，数据兼容。

3　发展建议

3.1　重视并深入研究工厂化栽培作业管理

加强工厂化栽培作业管理，可更充分地利用光照、空间资源，更有效地控制人工生产成本，从而提高单位面积效益。近年来，我国连栋温室番茄工厂化栽培规模迅速扩大，通过引进成套技术和生产模式，初步建立了大型温室条件下的工厂化生产作业管理方法，生产作业效率显著提高，工厂化管理理念已成共识。但是，建立科学高效且可复制推广的成套流程和管理方法仍是迫切需求。为此，应充分认识工厂化栽培作业流程研究在自然科学与管理科学之间的交叉性，重视并加强此类研究，各级政府应给予引导和经费支持，从而逐步解决我国大型温室更多品类工厂化栽培问题。

3.2　建立以种植者为中心的创新协作体系

工厂化栽培水平与栽培技术、装备技术和管理技术水平都有直接关系，且相互影响、相互制约。对于投资大、运行成本高的大型温室而言，单独一个门类的研究方向往往难以达到节本增效的目的。为此，应以种植者为中心，深化机艺融合，扩大至机艺管融合，推动建立以管理方法为纽带的创新协作体系。通过以种植者为中心的创新协作体系，针对相同或相似的应用场景和品类，同步开展栽培技术、装备技术、管理技术的研究创新，使其经济考量更为精准，具有成套应用的现实价值，并积极开展以科学管理为纽带的成套技术试验示范，能快速检验和推广应用成果。

参考文献

李新旭，王艳芳，李红岑．2018．蔬菜工厂化（一）北京市大型连栋温室蔬菜工厂化生产情况．中国蔬菜，(7)：83-87.

农业农村部蔬菜生产机械化智能化生产培训团．2018．荷兰蔬菜机械化发展的启示与思考．农机科技推广，(12)：49-53.

罗宾斯 S P，库尔特 M．2017．管理学．刘刚，程熙鎔，梁晗，译．13 版．北京：中国人民大学出版社.

《中国蔬菜》学术论文下载 www.cnveg.org