

王楠,焦子伟,李东育,等. 我国绿色设施农业栽培关键技术研究进展[J]. 江苏农业科学,2021,49(18):18-24.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.18.004

# 我国绿色设施农业栽培关键技术研究进展

王楠<sup>1</sup>, 焦子伟<sup>1</sup>, 李东育<sup>1</sup>, 陈晓露<sup>1</sup>, 王念平<sup>2</sup>

(1. 伊犁师范大学生物与地理科学学院, 新疆伊宁 835000; 2. 伊犁州职业技术学院, 新疆伊宁 835000)

**摘要:**近年来随着我国设施绿色农业得到迅速发展,其关键栽培技术也得到了充分示范与应用。本文基于我国绿色设施农业生产现状和栽培关键技术最新研究进展,重点介绍了绿色设施农业种苗技术上如育种、育苗技术措施,模式栽培上如无土栽培和有土栽培措施,肥水管理上如施肥技术、灌溉技术和其他技术措施,病虫害防治上如法律法规保障、预测预报、农业防治、物理机械防治、生物防治、化学防治等防治方法与措施,现代智能化装备与技术上如机械智能化装备、现代智能化技术等措施,对其栽培关键技术进行集成与归纳总结,并对今后我国绿色设施农业发展提出了合理化建议与对策。

**关键词:**设施农业,绿色食品,栽培,研究进展,建议

**中图分类号:**S316 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2021)18-0018-07

设施农业是结合工程、信息、生物、环境技术为一体的集约型、现代化的现代农业生产模式,能增强农业综合生产力、抗风险能力,提高土地、资源利

用率和劳动生产率<sup>[1]</sup>。自 20 世纪 90 年代我国设施农业就开始从国外引进先进栽培经验和技术加以应用与示范,截至 2015 年设施园艺面积达到 410.9 万 hm<sup>2</sup>,产值达到 9 800 亿元<sup>[2]</sup>。近年来,随着我国人民生活水平不断提高,现代社会和消费者对食品选择也发生了转变,要求食品多样、健康和安,我国绿色农业得到迅速发展,产业链逐渐延长,已经形成一定规模。据报道,2014 年底我国绿色食品产品总数达到 14 500 个,年销售额达到 1 798 亿元,出口额显著提升<sup>[3]</sup>。近年来,绿色设施农业发展迅速,在我国各地形成了塑料大棚、日光温室、智能温

收稿日期:2020-12-16

基金项目:新疆维吾尔自治区科技支疆项目(编号:2017E0239)。

作者简介:王楠(1992—),女,新疆伊宁人,硕士,讲师,主要从事有机农业、农业生态研究。E-mail:zoe\_ylsy@163.com。

通信作者:焦子伟,博士,教授,主要从事微生物生态及绿色有机有害生物综合防治研究与示范,E-mail:741285332@qq.com;王念平,副教授,主要从事农作物有害生物防治研究,E-mail:539958220@qq.com。

[41]王宁,田晓莉,段留生,等. 缩节胺浸种提高棉花幼苗根系活力中的活性氧代谢[J]. 作物学报,2014,40(7):1220-1226.

[42]陈晓娇. DPC 浸种促进棉花侧根发育的激素机制及结合态 ABAsFv 的制备[D]. 北京:中国农业大学,2017.

[43]段留生,张一,唐祥舜,等. 甲哌鎓对棉花幼苗侧根发生的诱导效应和机理研究[J]. 西北植物学报,2002,22(4):877-882.

[44]de Almeida A D,Rosolem C A. Cotton root and shoot growth as affected by application of mepiquat chloride to cotton seeds[J]. Acta Scientiarum(Agronomy),2012,34(1):61-65.

[45]汪有元,李维江,董合忠. 不同化学试剂处理对棉花种子萌发和抗盐性的影响[J]. 山东农业科学,2010(3):73-76.

[46]Mao L L,Zhang L Z,Sun X Z,et al. Use of the beta growth function to quantitatively characterize the effects of plant density and a growth regulator on growth and biomass partitioning in cotton[J]. Field Crops Research,2018,224:28-36.

[47]赵强,张巨松,周春江,等. 化学打顶对棉花群体容量的拓展效应[J]. 棉花学报,2011,23(5):401-407.

[48]徐新霞,苏丽丽,魏鑫,等. DPC 对杂交棉生长发育调控效应

研究[J]. 新疆农业科学,2015,52(7):1237-1242.

[49]Cook D R,Kennedy C W. Early flower bud loss and mepiquat chloride effects on cotton yield distribution[J]. Crop Science,2000,40(6):1678-1684.

[50]Gao H Y,Ma H,Khan A,et al. Moderate drip irrigation level with low mepiquat chloride application increases cotton lint yield by improving leaf photosynthetic rate and reproductive organ biomass accumulation in arid region[J]. Agronomy,2019,9(12):834.

[51]Zhao W C,Du M W,Xu D Y,et al. Interactions of single mepiquat chloride application at different growth stages with climate,cultivar and plant population for cotton yield[J]. Crop Science,2017,57(3):1-12.

[52]Ren X M,Zhang L Z,Du M W,et al. Managing mepiquat chloride and plant density for optimal yield and quality of cotton[J]. Field Crops Research,2013,149:1-10.

[53]慕自新,马富裕,郑重,等. 膜下滴灌棉花随水根施多效唑的效果分析与化控技术的探讨[J]. 农业工程学报,2004,20(4):54-57.

室等多种发展模式,实现了规模化生产,尤其以山东寿光蔬菜在国际市场的占有率较高,并带来了巨大经济效益、社会效益和生态效益。但与国外相比,虽然我国设施农业在生产成本等方面具有较大优势,但在绿色设施农业现代化、标准化栽培技术等方面研究相对落后,示范应用程度低,规模效益未有充分显现<sup>[4]</sup>。

本文基于我国绿色设施农业生产现状和栽培关键技术最新研究进展,对其栽培关键技术进行集成与归纳总结,并对今后我国绿色设施农业持续健康栽培提出了合理化建议与对策。

## 1 栽培技术研究进展

### 1.1 种苗技术研究进展

1.1.1 育种技术 我国把选育和采用优良品种作为绿色设施农业的重要环节,注重复合高抗优良品种、适低肥品种等的选育,并选用饱满、均匀、无病虫害的优良种子,减少病虫害寄主和减轻病虫害<sup>[5]</sup>。已有研究表明,通过杂交自然抗性筛选方式选育抗病品种、抗性基因 QTL 检测分析等方法能够选育出针对真菌病害、虫害等有害生物具有抗性的品种应用于绿色农业<sup>[6-7]</sup>。武利明等采用物理方法如  $\gamma$  射线和  $\text{Fe}^+$  处理番茄种子后可显著提高了番茄品种对晚疫病的抗病能力<sup>[8]</sup>。潘连公等利用国家航天蔬菜生物育种技术,推广航天蔬菜新品种并获得成功<sup>[9]</sup>。陈宝在品种选育过程中根据不同地区的自然条件、病虫害发生情况和自然灾害调整品种抗性<sup>[10]</sup>。

1.1.2 育苗技术 我国早期育苗技术采用容器育苗和穴盘育苗,后期发展为具有统一规格,如穴数 72 孔、98 孔、105 孔、128 孔、200 孔等的穴盘育苗<sup>[11-12]</sup>;工厂化育苗是在此基础上发展起来的,更具技术优势,现已广泛应用于绿色食品蔬菜、花卉的育苗<sup>[13-16]</sup>。我国一些蔬菜瓜果如黄瓜、西瓜、茄子、青椒、西红柿等作物被嫁接到抗病强砧木上育苗的技术得到广泛应用,此法有利于防治土传病害,增强抗逆性,促进大幅度增产<sup>[17]</sup>。已有研究表明,在绿色食品温室黄瓜、茄子栽培中,采用抗病性较强的种苗如黑籽南瓜苗和野茄子苗等作为砧木进行嫁接育苗,可显著增强蔬菜瓜果抗逆性<sup>[18]</sup>。也有研究表明,可以利用植物细胞全能性进行组织培养,形成的植株经过炼苗与移栽,能够快速生产健康的商品苗,许多植物都能够用此法进行生产销

售,如草本植物连翘、吴茱萸、寒兰、红掌,木本果树,藤本猕猴桃等<sup>[19-24]</sup>;目前在此基础上已开发有 LED 灯管和 LED 柔性灯带 2 种组培专用光源及相应的控制系统,能使组培架间的距离缩短,接近植物表面照射,提高空间利用率,而且耗能少、光效高<sup>[25]</sup>。

无土育苗在我国得到飞速发展。我国于 1990 年使用基质育苗,如天然基质材料玉米芯和肥土等作为基质应用于瓜类、蔬菜等作物<sup>[26]</sup>。也有研究采用草炭和珍珠岩以 2:1 比例混合进行草莓的育苗,显著增加了生物量,缩短后期定植的缓苗时间,提高成活率<sup>[27]</sup>。漂浮育苗技术是无土育苗的优化技术,一次性配给充足营养液后,将育苗盘浮放在营养池浅层营养液上进行育苗,既可工厂化集中育苗,又可分散农户育苗,现已应用于烟草、棉花、蔬菜等作物的育苗<sup>[28-29]</sup>。全光照喷雾扦插育苗是指在全光照的插床上用带有叶片的插穗进行扦插,使用自动化喷雾装置长时间喷雾进行育苗的一种技术,扦插效率高,插穗生根迅速,成苗率高,繁殖系数高,适宜品种广泛,经济效益可观<sup>[30]</sup>。李东等采用全光照喷雾扦插育苗效果显著,如橡皮树、扶桑、月季和荷兰海棠的生根率达 95% 以上,三角梅、茉莉和米兰的生根率达 90% 以上,菊花、一串红、万寿菊和金鱼草的生根率达到 98% 以上<sup>[31]</sup>。全日照喷雾扦插技术在金丝小枣、银杏、油桃、金叶菰、黑加仑等多种草本、木本果树和观赏植物的嫩枝、嫩梢扦插育苗中有较好的效果并得到广泛应用<sup>[32-37]</sup>。

### 1.2 模式栽培研究进展

1.2.1 无土栽培 槽式基质栽培在温室或大棚中依据栽培作物不同特性选择合适栽培基质填装<sup>[38]</sup>。目前在我国各地已有利用槽式基质栽培进行西瓜、彩椒、叶菜类蔬菜等作物的绿色有机栽培模式<sup>[39]</sup>。姜慧玲等报道,秸秆直填槽式栽培技术已应用绿色食品黄瓜、番茄、甜椒等经济作物的日光温室栽培<sup>[40]</sup>。我国台湾地区使用自动化箱式栽培应用于绿豆芽、黄豆芽、豌豆芽等芽菜,以及水稻育苗、蔬菜和菇类的立体自动化生产,品质好且效益好<sup>[41]</sup>。金硕等采用箱式立体栽培双孢菇,产量明显高于架式栽培,有助于保温,节约能源,培养箱放置灵活,易于采摘<sup>[42]</sup>。赵倩等研究表明,通过设施内高精度环境控制实现农作物周年连续生产的温室系统,配合营养液供给系统,现已实现农作物周年生产<sup>[43]</sup>。陈文胜等报道盆栽栽培技术现已应用于绿色食品

观叶蔬菜红晶生菜、羽衣甘蓝、罗勒、木耳菜等,观花蔬菜红秋葵、花生、金色菜花等,观果类蔬菜瓜类、彩椒、樱桃番茄等以及观茎类蔬菜山药、姜等作物<sup>[44]</sup>。也有研究表明,利用浮板栽培技术如深池浮板栽培和浮板毛管水培技术栽培生菜,已经达到了良好的经济效益<sup>[45]</sup>。利用浮板毛管水培技术方式培养叶菜类蔬菜,具有生长快、产量高、维生素和矿物营养丰富、土传病虫害少等优点,也适宜发展绿色农业栽培<sup>[46]</sup>。

立体式栽培技术也得到较快应用。立体旋转式基质栽培需要在固定且相对抗风的保护设施如大棚或温室中实施,通过低能耗的低压水轮驱动装置驱动基质槽匀速运转以获得均匀的光照、水分和营养液,该法已在温室中周年生产各类速生叶菜,每隔 2 天种植一批叶菜,实现日采收量均衡<sup>[47]</sup>。立柱式栽培指在温室中通过柱形固定栽培槽进行立体栽培,可用于培养茼蒿、生菜、芹菜等小株型叶菜,草莓等水果;不仅可在温室大棚中用于大规模生产,还可用于家庭和商用地使用<sup>[48-49]</sup>。立体管道水培连接营养液供给系统,可制成单墙面或双墙面式的垂直管道架,斜面墙式管道架,多层床式管道架等应用于绿色设施农业生产<sup>[50]</sup>。王久兴报道使用立体管道水培增加了营养液中的溶解氧含量,缓解了营养液和氧气的矛盾,显著提高莴苣的产量<sup>[51]</sup>。

1.2.2 有土栽培 我国已在绿色设施农业中广泛采用覆膜技术。研究表明,在草莓生产中使用墨绿膜覆盖栽培,能够在冬季生产中保持土温,防止杂草滋生,避免草莓与土壤接触,从而影响品质<sup>[52]</sup>。傅国海等在夏季温室中使用土垄内嵌基质栽培法栽培番茄试验中发现,定植前覆盖反光和强反光地膜,显著降低了膜下和根区的温度,且提高了番茄幼苗的生物量<sup>[53]</sup>。高垄栽培在绿色设施农业种植中既可促进根系下扎生长,又可降低病虫害危害,已应用于绿色设施农业草莓、黄瓜、番茄、辣椒等瓜果蔬菜种植<sup>[18]</sup>。间混作和套种可通过增加作物、害虫和天敌的多样性,吸引更多的自然天敌,从而达到抑制病虫害的目的<sup>[54]</sup>。间作套种结果表明,小白菜与非十字花科植物间作套种明显提高捕食性和寄生性天敌的数量和物种丰富度,同时,间作对天敌的影响大于植食性害虫<sup>[55]</sup>。孙清花等报道,绿色食品温室草莓、平菇立体种植已在新疆伊犁示范应用,并取得较好的收益<sup>[56]</sup>。

### 1.3 肥水管理技术研究进展

1.3.1 施肥技术 我国已在绿色农业如果茶、蔬菜生产中开始使用商品有机肥替代化肥包括单一成分肥料和多成分肥料,有效减少化肥用量,弥补了传统动物粪便对农产品质量的影响<sup>[57]</sup>。目前,我国在绿色设施农业中采用基肥、种肥、追肥等施肥方式广泛施用腐熟的有机肥、化肥、有机无机复合肥料等来促进其生长发育<sup>[18]</sup>。微生物肥料应用技术也在我国得到快速应用,主要采用多个不同菌种组成的具有多种功能的复合菌剂,或使用菌剂与其他无机和有机物料进行混合的肥料,是我国进行绿色设施农业生产的重要组成部分<sup>[58]</sup>。微生物肥料可以通过产生植物生长激素、维生素等活性物质促进植物生长发育、提早开花、改进品质,结果表明,AM 真菌的侵染能够促进彩叶草实生苗的生长发育<sup>[59]</sup>。微生物肥料对土壤肥力有促进作用,具体表现在增加土壤微生物数量、提高土壤保温性能、修复土壤板结<sup>[60]</sup>,并增加土壤中有益微生物如放线菌、硝化细菌等的数量,降低有害微生物数量<sup>[61]</sup>。微生物肥料如固氮菌类能帮助非豆科植物生物固氮,充分利用氮气资源合成氮肥,减少氮肥投入<sup>[62]</sup>。此外,在温室中还可通过固态二氧化碳气肥、加强棚内或温室内对流通风、化学二氧化碳发生器、燃气二氧化碳发生器或钢瓶液态二氧化碳等常用方式增施 CO<sub>2</sub> 气肥<sup>[63]</sup>;近年来出现了新型的二氧化碳气肥(吊带式二氧化碳气肥),通过吊挂在植株上部,持续产生二氧化碳气体,晚上则可取下倒入温室棚内与土壤拌和缓效产气,促进光合产物的积累<sup>[64]</sup>,相对传统方法成本更低,使用更灵活和方便。

1.3.2 灌溉技术 目前我国在绿色设施农业中采用节水灌溉技术和水肥一体技术。设施类节水灌溉方式有喷灌技术、低压管道输水灌溉技术和微管技术。目前我国在干旱少雨地区节水灌溉已经普及应用<sup>[65]</sup>。采用移动式喷灌,具有机动灵活、适应性广、投资少的特点,且节水可达 40% 以上,通过将其与计算机及其他自动化设备连接,还可以有效提高农业生产机械化、自动化水平,节约水资源和提高水资源利用率<sup>[66]</sup>。此外,根据作物需求对农田水分和养分进行综合调控和一体化管理,利用无线传感器检测、计算机建模等高新技术,实行精准农业,能够显著提高水分和肥料利用率,保护土壤和生态环境<sup>[67]</sup>。绿色设施农业膜下滴灌、滴灌等的应用,实现了水肥一体化,有效促进了肥水管理<sup>[18]</sup>。

1.3.3 其他技术措施 饶晓娟等研究表明,采用增氧技术能通过改善土壤中溶解氧含量和根际土壤环境促进营养吸收和作物生长,还可促进土壤微生物数量和多样性变化,提高土壤酶活性<sup>[68]</sup>。也有研究表明,昆虫授粉技术广泛应用于绿色设施农业种植,已在温室草莓、番茄、桃、大棚西瓜、香瓜等瓜果蔬菜取得成功<sup>[69]</sup>。利用熊蜂在绿色食品设施番茄中进行授粉,与传统的激素点花相比,能够生产有籽番茄,提升番茄的口感和香味,不易出现空心果实<sup>[70-71]</sup>。陈茜等采用稀土转光材料应用技术,通过添加稀土转光剂——掺杂 Eu 的稀土有机配合物,高效吸收 360 nm 以下的紫外光,发射出位于 620 nm 附近的窄带红光,实现光质转换;尤其是北方冬季大棚种植草莓、樱桃和果菜类,使用添加此转光剂的转光膜能够快速升温、提高光合效率、提高果实品质<sup>[72]</sup>。朱永迪研究采用光伏农业应用技术在设施农业中用于照明,为温室补光,延长光合时间,增加作物产量<sup>[73]</sup>。曹源等报道,采用补光灯应用技术,常需要在大棚及温室中冬春日照时间不足时进行人工补光,以实现多季栽培<sup>[74]</sup>。也有研究表明,采用微波疏灯补光,适应范围更广,且使用寿命长,能耗低,应用在西红柿生产中,使其生长速度较普通栽培提高 30%,单位面积产量增加 7%<sup>[75]</sup>。

#### 1.4 病虫害防控研究进展

1.4.1 法律法规保障 我国加强了植物检疫工作,重新修订的《植物检疫条例》,利用其调控和保护手段,防止人为传播有害生物,预防外来有害生物,严格法制管理和注重可持续发展<sup>[76]</sup>。我国自 2000 年起相继制定和修改完善了《绿色食品标识管理办法》《绿色食品产地环境技术条件》《绿色食品肥料使用准则》《绿色食品农药使用准则》等绿色食品标准,并对我国绿色食品标识管理以及绿色农业生产产地环境、农业投入品管理等方面做了相关规定<sup>[18]</sup>。

1.4.2 预测预报 我国已建立全国病虫害监测站点形成预测预报网络,通过田间试验大量收集病害发生频率和规模的信息,并结合不同病害的发生特点将收集资料数据化并进行分析,掌握农业病虫害的趋势,利用计算机信息技术建立农作物预测预报模型<sup>[77]</sup>。近年来,我国逐渐将人工智能运用到农作物病虫害预测预报中,及时上传和更新病虫害发展动态,达到实时监测,有利于防治工作的快速反应和迅速开展<sup>[78]</sup>。

1.4.3 农业防治技术 选用品质优良、抗逆性好的种子、种苗,并对种子进行晒种、浸种,如冷水浸种、温汤浸种、冷水与温汤结合浸种等方法,植物化感物质 Vitacat 稀释液浸种或含有 Vitacat 物质的包衣处理种子均能提高其活力和发芽率,增强其抗虫、抗病能力<sup>[79]</sup>。合理轮作倒茬与间混作套种有机结合;科学合理施肥灌水,控制绿色设施农业的温湿度;对杂草、病枝、病叶等残体进行集中处理,清洁田园,减少病虫越冬基数,降低病虫害的发生与危害<sup>[18]</sup>。

1.4.4 物理机械防治技术 刘显俊将温室电除雾防病促生系统应用于温室,预防和控制病害病菌的发生,有效保障绿色设施农业蔬菜、花卉等作物在寒冷季节维持生产<sup>[80]</sup>。陈勇报道,土壤连作电处理技术已在温室、大棚、露地生产中得以应用,有效缓解土壤病虫害、根系有害分泌物、土壤物理性缺素等连作障碍,并且已经在土壤线虫的控制上取得了成功<sup>[81]</sup>。频振式和互感式电子杀虫灯等对近 1 270 余种害虫有诱集作用,效果优于黑光灯<sup>[82]</sup>。刘小东研究表明,利用臭氧发生器产生臭氧气体直接放入日光温室中,对所有病菌、霉菌、真菌及原虫、卵囊都有灭活作用,是在日光温室中生产绿色农产品的重要机械化防治手段<sup>[63]</sup>。其他研究表明,声波助长技术能提高植物活细胞内电子流的运动速度,提高光合速率,增加营养物质积累,增产增收,并能增强植物抵御病害侵染的能力<sup>[83]</sup>。也有报道指出,采用黄蓝板诱虫技术,减少用药次数和农药污染,提升了果实品质和口感<sup>[84]</sup>;采用适当目数的防虫网能够有效防治小型害虫<sup>[85]</sup>;一些地区使用双层防虫网室进行蔬菜种植,适宜夏季种植十字花科等不需强光的作物,可有效减少化学药剂投入,生产绿色健康的农产品<sup>[86]</sup>。

1.4.5 生物防治 生物天敌进行生物防治能够增加农田生物多样性,改善生态环境,减少化学防治的投入,修复和维持生态系统平衡<sup>[87]</sup>。一方面,我国使用生物农药进行害虫防治,已投入应用的包括病毒源、细菌源、真菌源以及线虫源类,现已登记在册的有真菌类金龟子绿僵菌、球形芽孢杆菌、苏云金杆菌以及病毒类蟑螂病毒<sup>[88]</sup>;另一方面,寄生性天敌如丽蚜小蜂能有效防治温室白粉虱,赤眼蜂能有效防治菜青虫、棉铃虫等<sup>[89]</sup>。

1.4.6 化学防治 目前我国使用的环保型杀虫剂主要有微生物源、植物源和昆虫调节剂等,其主要

特点是来源于天然产物,低残留低毒性,对生态环境和其他非靶标生物友好<sup>[90]</sup>。植物源杀虫剂目前主要有来源于植物次级代谢产物的活性物质如除虫菊酯、鱼藤酮、印楝素和芳香精油等,植物的杀虫肽类如环肽、豌豆白蛋白 1b、防御素等,现已部分被批准使用 and 商业化,主要用于绿色有机农业病虫害的防治<sup>[91]</sup>。矿物杀虫、杀菌剂目前已被投入生产的包括多种类型,如用于防治螨类的无机化合物和石油类农药;用于防治由真菌和细菌引起的细菌性角斑病、炭疽病、晚疫病、软腐病及真菌引起的霜霉病等多种病害的波尔多液;用于防治柑橘红蜘蛛、粉虱、蚜虫和介壳虫等的机油乳剂、柴油乳剂等<sup>[92]</sup>。焦子伟等报道,采用 800~1 000 倍浓度喷施 50% 硫磺悬浮剂,或直接使用硫磺进行熏蒸,可有效防治红蜘蛛<sup>[93]</sup>。韩盛等报道,77% 氢氧化铜干悬浮剂、37% 氢氧化铜悬浮剂、波尔多液防治加工番茄细菌性斑点病防效分别为 73.11%、67.43%、64.78%<sup>[94]</sup>。此外,在绿色设施农业中应用强酸性电解水能强制性夺取细菌病毒的生物膜电子,达到灭菌作用;强碱性电解水具有抗菌、促进细胞活化和新陈代谢、促进微生物繁殖以及促进作物萌芽生长和果实着色等作用<sup>[95-96]</sup>。

### 1.5 现代化、智能化装备与技术应用进展

1.5.1 现代化、智能化装备应用 现代化农业机械在绿色设施农业中已有广泛的应用,如温室中的卷帘机、捕虫灯、调温、调光通风增碳系统和施肥装置、小型耕整机具、播种机械如穴盘精播机、育苗栽培机械、灌溉施肥装备如喷雾设备、滴灌设备及水肥一体技术、植保采摘机械、运输装备等。目前,我国结合机械、自动控制与设施园艺的嫁接机器人技术能够在极短时间进行嫁接,避免切口长时间氧化和苗内液体流失,大大提高了嫁接成活率及嫁接速度<sup>[17]</sup>。也有报道指出,应用无人机在农业领域可以进行一些农事操作及信息获取,如喷洒农药,获取作物生长状况、生长环境条件以及病虫害信息等,为下一步农业决策提供依据<sup>[97]</sup>。

1.5.2 自动、智能化技术 目前,我国通过大量收集和掌握设施农业病虫害发生时的环境信息、病害发生频率和规模等数据进行分析,利用计算机技术建立模型也可以用于后期的病虫害预测预报<sup>[77]</sup>;利用昆虫、病害自动识别系统以及基于网络技术的植保专家会诊系统,快速地识别和共享有害生物信息<sup>[78,98]</sup>。无线传感网技术在设施农业中也已得到

应用,该技术在设施农业中能监控棚内土壤温度、pH 值、湿度、土壤水分等指标<sup>[99]</sup>。近年来,将传统的温室灌溉技术与无线传感技术和基于互联网的精准灌溉决策系统结合起来,通过传感器、电磁阀以及互联网灌溉决策系统和手机 APP 进行自动化灌溉,番茄种植试验结果表明,与传统滴灌相比灌水显著减少,水分利用效率提高 20.8%,且精准灌溉下番茄的茎秆更粗壮,果实可溶性糖、可溶性蛋白含量显著高于传统滴灌处理<sup>[100]</sup>。

## 2 绿色设施农业的发展方向

截至目前,我国绿色设施农业得到了飞速发展,与国外相比,虽然我国在生产成本等方面具有较大优势,但在绿色设施农业现代化、标准化栽培技术等方面研究仍相对落后,示范应用需要进一步加大规模。针对我国今后绿色设施农业发展提出如下建议:一是在原有的基础上,立足健身栽培,从现代绿色生态系统出发,进一步加强绿色设施农业模式栽培、肥水管理技术、病虫害综合防治如生物农药开发等、现代智能化装备与技术的基础性研究,以期掌握新方法、新工艺、新技术,应用于绿色设施农业栽培。结合实际,因地制宜,对已有成熟的绿色设施农业栽培关键技术进行集成与装配,制定标准,强化贯标,实现我国绿色设施农业标准化、规模化、现代化栽培。二是进一步利用全球定位系统(GPS)、地理信息系统(GIS)、遥感(RS)技术发展绿色精准设施农业,对农业活动进行精准的定时、定量、定位控制,提高生产效率;并结合我国互联网、大数据、人工智能等高新科技的应用普及,紧密结合高新技术,提高科学生产的能力,形成标准化生产、自动化生产、科学管理和监测的绿色设施农业生产,提高绿色农产品的生产品质,提高国际竞争力。三是逐步推进我国绿色设施农业向有机设施农业、功能农业方向发展。在有机设施农业方面,着力研究解决有机设施农业施肥技术、病虫害综合防治技术、生物农药开发等方面的有机栽培关键技术,并对有机栽培技术进行集成与配套,以点带面,点面结合,逐步示范与应用。在功能农业上,如可进一步加大富硒设施农业产业开发力度,研究、集成富硒瓜果蔬菜的硒肥控制技术与栽培关键技术,开发出富硒农产品,带动其产业发展。

### 参考文献:

[1] 李中华,王国占,齐飞. 我国设施农业发展现状及发展思路

- [J]. 中国农机化,2012,33(1):7-10.
- [2]杨其长,张成波. 植物工厂系列谈(一)——植物工厂定义与分类[J]. 农村实用工程技术:温室园艺,2005,25(5):36-37.
- [3]王德胜. 绿色农业的发展现状与未来展望[J]. 中国农业资源与区划,2016,37(2):226-230.
- [4]陈艳玲. 山东寿光蔬菜产业国际竞争力分析[D]. 太原:山西财经大学,2008.
- [5]丁俊杰,黄瑞斌,孙好亮. 有机农业生产病虫害防治关键技术[J]. 麦类文摘(种业导报),2007(9):22-24.
- [6]翟文强,王豪杰,李俊华,等. 新疆甜瓜(*Cucumis melo* L.)白粉病抗性育种研究[J]. 新疆农业科学,2011,48(9):1602-1605.
- [7]高晓铭,刘崇怀,张国海,等. 葡萄抗炭疽病 QTL 的初步定位分析[J]. 园艺学报,2016,43(12):2442-2450.
- [8]武利明,张喜春. 不同剂量的 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线和 $\text{Fe}^{+}$ 对番茄生物学效应及抗晚疫病研究[J]. 中国农学通报,2015,31(15):131-139.
- [9]潘连公,陈彩能. 甘肃省天水市绿色农业示范区建设的思考[J]. 中国农业资源与区划,2012,33(1):88-92.
- [10]陈宝. 浅析绿色农业发展技术与措施[J]. 农业与技术,2019,39(2):166-167.
- [11]张正选. 容器育苗的特点及育苗技术[J]. 农业科技与信息,2007(9):36.
- [12]周颖. 育苗新技术与工厂化育苗[J]. 农业与技术,2012,32(6):46.
- [13]国壮. 蔬菜工厂化育苗技术示范推广项目初见成效[J]. 现代农村科技,2019(2):97-98.
- [14]王华. 工厂化育苗技术与发展对策研究[J]. 山西林业科技,2016,45(2):51-52.
- [15]刘更喜. 论现代化温室与工厂化育苗[J]. 青海农林科技,2002(增刊1):31-42.
- [16]魏智龙,邹志荣,吴正景. 蔬菜与花卉的工厂化育苗技术[J]. 北京农业科学,2000,18(6):17-19.
- [17]张铁中,徐丽明. 大有前景的蔬菜自动嫁接机器人技术[J]. 机器人技术与应用,2001(2):14-15.
- [18]焦子伟. 绿色设施农业及新疆伊犁绿色食品蔬菜栽培实践[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2019.
- [19]雷文瑾. 寒兰组织培养中酚污染控制研究初探[J]. 南方园艺,2009,20(3):17-18.
- [20]石峰. 红掌组织培养技术研究[J]. 现代农业科技,2009(20):216-217.
- [21]唐征,荆赞革,张小玲,等. 吴茱萸组织培养和快速繁育技术研究[J]. 安徽农业科学,2012,40(36):17475-17477.
- [22]吴潇,刘阳,张咪咪,等. 山西道地药材连翘组织培养快速繁育技术研究[J]. 安徽农业科学,2015(12):41-42,47.
- [23]张道辉. 果树离体快繁育苗消毒新方法[J]. 农业知识:瓜果菜,2008(11):11.
- [24]张海平,周建峰,任目瑾. 海沃德猕猴桃组织培养快速繁育技术研究[J]. 陕西林业科技,2011(2):8-11.
- [25]杨雅婷,肖平,胡永遂,等. LED 在设施园艺中的应用系列(三) LED 在植物组织培养中的应用[J]. 农业工程技术,2009,29(7):13-14.
- [26]孙廷相,邹志荣. 玉米芯育苗技术[J]. 长江蔬菜,1990(5):31.
- [27]郑剑超. 基质育苗对草莓生长发育的影响[J]. 新疆农垦科技,2015,38(12):32-33.
- [28]岑爱华,陈小桦,吴宝剑,等. 漂浮育苗技术在黄兰育苗中的应用[J]. 南方农业(园林花卉版),2011,5(6):68-69.
- [29]熊格生,陈金湘,唐海明. 作物无土育苗技术的研究现状及展望[J]. 江西农业学报,2007,19(10):42-45.
- [30]刘巧霞. 设施育苗之全光照喷雾扦插育苗技术[J]. 现代园艺,2014(16):48.
- [31]李东,牛月莉. 木本、草本花卉全光照喷雾扦插育苗技术[J]. 乡村科技,2017(27):52-53.
- [32]陈瑞荣,秦光华. 樱花全光照喷雾嫩枝扦插育苗技术[J]. 山东林业科技,2013,43(4):90-91.
- [33]范金庆. 金丝小枣的全光照自动喷雾嫩枝扦插育苗技术[J]. 落叶果树,2013,45(6):48.
- [34]李国富. 黑加仑扦插育苗技术[J]. 农村科技,2009(8):92.
- [35]刘春红. 解析连翘全光照喷雾嫩枝扦插育苗和造林管理技术[J]. 现代园艺,2014(4):46-47.
- [36]王桂莲. 金叶菟全光雾扦插育苗技术[J]. 北方园艺,2010(19):111-112.
- [37]王惠珍,代亚光,王洪波. 银杏嫩枝扦插育苗技术试验[J]. 中国园艺文摘,2010,26(9):41.
- [38]马桂花. 日光温室黄瓜有机生态型无土栽培技术[J]. 北方园艺,2011(19):44-45.
- [39]宛汉斌,赵德万,曹布霆,等. 日光温室有机基质槽式栽培西瓜新技术[J]. 长江蔬菜,2011(15):19-20.
- [40]姜慧玲,孙小镭,冯连杰,等. 秸秆直填槽式栽培技术[J]. 科技致富向导,2011(28):32.
- [41]武夷. 台湾芽菜箱式栽培自动化[J]. 台湾农业探索,2004(2):41-42.
- [42]金硕,刘天文,王升厚. 北方双孢菇箱式立体栽培新技术[J]. 农业与技术,2013,33(7):99.
- [43]赵倩,王琨琦,聂铭君,等. 集装箱植物工厂自动控制系统建立[J]. 农机化研究,2016,38(10):217-222.
- [44]陈文胜,陈华,郑敏,等. 盆栽观赏蔬菜及其栽培管理技术[J]. 福建农业科技,2015(8):36-38.
- [45]庄华才,叶榛华,杨贺年,等. 深池浮板栽培蔬菜技术及其应用[J]. 现代农业装备,2008(12):50-52.
- [46]李卫强,崔万锁,梁树乐. 日光温室浮板毛管水培技术[J]. 蔬菜,2000(3):16-17.
- [47]肖日新,何阳,陈帮英. 速生叶菜立体旋转式基质栽培技术[J]. 长江蔬菜,2018(16):32-33.
- [48]丁亮. 立柱式蔬菜无土栽培[J]. 农家参谋,2002(1):13.
- [49]纪开燕,郭成宝,童晓利,等. 设施草莓立体无土栽培的主要模式与发展对策[J]. 江苏农业科学,2013,41(6):136-138.
- [50]彭世勇,马威. 几种管道水培设施制作技术[J]. 长江蔬菜,2017(7):12-13.
- [51]王久兴. 深液流管道水培系统的研制[J]. 湖北农业科学,2008,47(1):101-103.
- [52]赵建立. 温室草莓高垄覆膜促成栽培技术[J]. 现代农业,2018(7):8.

- [53]傅国海,刘文科. 覆膜类型对日光温室 SRSC 栽培番茄幼苗根区温热效应的影响[J]. 中国农业气象,2017,38(4):211-220.
- [54]郑运章. 有机农业中的病虫草害防治技术[J]. 中国农村小康科技,2002(10):19-21.
- [55]蔡鸿娇. 间作套种对小白菜田间节肢动物群落及主要害虫的影响[D]. 福州:福建农林大学,2007.
- [56]孙清花,焦子伟,朱法辉. 新疆伊犁绿色食品温室草莓-平菇立体栽培关键技术规程[J]. 现代农业科技,2017(7):93,101.
- [57]贾然然. 建立有机肥替代化肥长效机制 农业部印发《开展果菜茶有机肥替代化肥行动方案》(上)[J]. 中国农资,2017(5):20.
- [58]朱代成,何长城,张留志. 关于环保绿色多功能微生物肥料探讨[J]. 农业与技术,2018,38(20):247.
- [59]马颖,郭绍霞,李想,等. AM 真菌对彩叶草生长发育的影响[J]. 安徽农业科学,2008,36(11):4500-4501.
- [60]刘亚清. 生物有机肥料在林业育苗应用上的生态效应分析[J]. 吉林农业,2011(8):186.
- [61]杨玉新,王纯立,谢志刚,等. 微生物肥对土壤微生物种群数量的影响[J]. 新疆农业科学,2008,45(增刊1):169-171.
- [62]郑茗月,李海梅,赵金山,等. 微生物肥料的研究现状及发展趋势[J]. 江西农业学报,2018,30(11):52-56.
- [63]刘小东. 臭氧发生器在日光温室大棚中的应用与研究[J]. 当代农机,2018(6):74-75.
- [64]胡丽娜. 吊袋式二氧化碳气肥大棚施肥使用技术[J]. 现代农业,2017(10):43.
- [65]王庆华,范洁,邵合勇. 机械节水灌溉技术在设施农业与节水农业中的应用[J]. 农业机械,2017(10):74-76.
- [66]侯宇,李鹏华. 浅谈高产创建活动中移动式喷灌技术的应用[J]. 中国农业信息,2013(5):156.
- [67]郝勇. 水肥一体化技术在设施农业中的应用[J]. 农业开发与装备,2019(5):216,218.
- [68]饶晓娟,付彦博,黄建,等. 增氧灌溉对棉花营养特征及土壤肥力的影响[J]. 土壤学报,2018,55(4):797-803.
- [69]兰凤明,刘福广. 浅谈我国蜜蜂授粉现状、存在问题及应对措施[J]. 蜜蜂杂志,2017,37(6):23-24.
- [70]赵博光,徐梦阳. 设施番茄生产中的熊蜂授粉技术[J]. 农业工程技术,2018,38(10):92-93.
- [71]顾向红,焦子伟,杨佳林. 新疆伊犁河谷温室草莓昆虫授粉技术规程[J]. 现代农业科技,2014(24):125.
- [72]陈茜,吴虹,陈涛,等. 植物光肥在草莓设施农业中的应用效果[J]. 稀土信息,2019(3):37-39.
- [73]朱永迪. 光伏发电技术在设施农业中应用的关键问题研究[J]. 农业机械,2018(8):113-115.
- [74]曹源,张翔. 植物补光灯在越冬温室黄瓜栽培中应用的关键技术[J]. 中国瓜菜,2017,30(2):54-55.
- [75]林芬,岑旭,陈孟颖,等. 微波硫灯补光技术在农业节电中的应用[J]. 电力需求侧管理,2018,20(3):34-36.
- [76]梁忆冰. 植物检疫对外来有害生物入侵的防御作用[J]. 植物保护,2002,28(2):45-47.
- [77]黄益忠,陶长江. 预测预报和综合防治技术在农作物病虫害中的推广应用[J]. 农业技术与装备,2015(7):28-29.
- [78]沈丽,封传红. 病虫实时监测技术的探讨与应用[J]. 中国植保导刊,2004,24(3):23-24.
- [79]王章陵,刘社民,门鹏飞. 德国有机农业中对植物化感技术的应用[J]. 陕西农业科学,2009,55(6):193-194,203.
- [80]刘显俊. 温室电除雾防病促生系统的原理及应用[J]. 农业科技与装备,2015(5):72-73.
- [81]陈勇. 土壤连作障碍电处理技术在天津的应用试验与前景展望[J]. 农业技术与装备,2010(5):47-48.
- [82]佚名. 物理方法防治脐橙病虫害[J]. 农家之友,2014(9):48.
- [83]刘忠泽. 声波助长技术在设施蔬菜领域的应用[J]. 农业科技与装备,2013(3):67-68.
- [84]姜巍. 频振式杀虫灯和黄蓝板在‘南果梨’生产中的应用[J]. 北方果树,2017(3):13-14.
- [85]张秀霞,周仙红,毛晓红,等. 不同孔径防虫网对设施蔬菜害虫隔离效果的影响[J]. 吉林农业,2018(9):57.
- [86]莫伟钦,苗兵兵,马棵,等. 双层防虫网室在十字花科叶菜夏秋季栽培上的应用[J]. 蔬菜,2018(4):55-57.
- [87]杨朗,陈恩海,梁广文. 害虫生物防治在害虫生态控制中的作用[J]. 中南林学院学报,2003,23(4):111-115,119.
- [88]刘萍萍,闫艳春. 微生物农药研究进展[J]. 山东农业科学,2005,4(2):78-80.
- [89]蔡青年,孙晓明,孟凡乔,等. 国外有机农业中有害生物综合管理技术[J]. 世界农业,2008(2):54-57.
- [90]周桂东. 我国环保型杀虫剂的研究现状与发展方向[J]. 农家参谋,2017(24):232.
- [91]叶萱. 植物源杀虫剂发展新方向[J]. 世界农药,2018,40(1):1-10.
- [92]王铁柱. 波尔多液在有机蔬菜生产中的运用[J]. 北京农业,2006(4):14.
- [93]焦子伟,孙清花,张娜,等. 新疆伊犁温室有机番茄病虫害发生及综合防治[J]. 江苏农业科学,2017,45(10):77-80.
- [94]韩盛,杨渡,徐万里,等. 8种生物源和矿物源农药防治加工番茄细菌性斑点病试验[J]. 新疆农业科学,2010,47(11):2258-2261.
- [95]邓立新,黄川,赵淑梅,等. 电解水对小白菜种子发芽的影响[J]. 农机化研究,2010,32(2):133-136.
- [96]孙拥军,高保平,邱菊,等. 电解水在设施蔬菜无公害生产中的应用初探[J]. 农业技术与装备,2011(8):42-43,45.
- [97]孙铁波. 无人机在精准农业中的关键技术及应用[J]. 湖北农机化,2020(1):51-52.
- [98]李卫国,顾晓鹤,葛广秀,等. 县域冬小麦病害遥感监测信息系统研制[J]. 江苏农业学报,2019,35(2):302-306.
- [99]呼延文静,郭洪波. 无线传感网技术在现代设施农业中的应用探讨[J]. 时代农机,2018,45(12):218.
- [100]杨显贺,于帮红,王嫣嫣,等. 智能化精准灌溉对日光温室番茄生长及水分利用率的影响[J]. 农业科技通讯,2020(1):159-162.