

供图 / 李生云



你能见到的 植物工厂类型



植物工厂发展至今,以多种形式出现在我们的视野中,因应用者所持的角度不同,存在多种分类方式。按照建设的规模大小,分为大型(3000平方米以上)、中型(1000~3000平方米)、小型(300~1000平方米)和微型(300平方米以下)植物工厂;根据应用场景的不同,又分为生产型、家庭式、集装箱式和教育科普型植物工厂;按照生产植物的类别划分,又有叶菜植物工厂、药用植物工厂、茄果类蔬菜植物工厂、果树植物工厂、育苗植物工厂、组培植物工厂和生物反应器等。实际上,从

解决食品安全和满足人们对高品质绿色蔬菜、瓜果需求不断提高的要求来看,在植物工厂中,完全可以根据植物的生长习性,提供最佳的生长环境,因此生产的植物包罗万象,品种丰富。您不仅仅能买到它生产的生菜、白菜、菠菜、冰菜等叶用蔬菜,还能购买到茄果、食用花卉、香料、水果、中草药和一些其他附加值较高的植物产品。这些从不同类型植物工厂走出来的主人们,以高产、优质和安全的姿态走入我们的生活,极大地满足了人类日益增长的高品质食品的需求。(撰文/李阳)



李阳,中国科学院植物研究所植物工厂研发中心主任、副研究员,福建省中科生物股份有限公司光生物产业研究院院长助理,主要从事植物生长光环境精准调控(光配方)、植物工厂关键技术研发和产业化。

叶菜植物工厂

顾名思义，“叶菜植物工厂”，是指生产叶用蔬菜的植物工厂。叶用蔬菜在人工光的环境下生长速度更快，水分充足，营养全面，口感更好，深受广大消费者欢迎。更重要的是，叶菜类蔬菜，除根以外的其他器官都能采收，产量高，生产成本低，因此，在全世界范围内，叶菜植物工厂也是“植物工厂界”最常见的代表类型。

过去，“叶菜植物工厂”中种植的品种主要为生菜，由于不同品种的生产潜力和对环境的适应性的差别，不同品种单位面积产量存在较大的差异。为了方便管理和获得较高的产出率，植物工厂中产品单一，常常只种植2至3个品种，如生菜中最常见的“优雅”（皱叶莴苣）和“绿碟”（奶油生菜）品种。目前，受科学研究进步的推动，植物工厂为增加生产的多样性，除生菜外，还进行白菜、菠菜、冰菜、芹菜、羽衣甘蓝、香料类、苗芽菜类等蔬菜的生产。并且，每一类型也筛选出较多的适宜品种，如白菜类的白梗小白菜、快白菜、娃娃菜等，香料类如罗勒、欧芹等，苗芽菜包括豆类、芝麻菜类、茴香、葱苗、甘蓝类等。

2016年5月，中科生物采用具有自主知识产权的模块式整合栽培系统，在福建泉州建成了国际上单体建筑面积最大的“万平方米”级叶菜植物工厂。工厂的洁净等级达到10万级，采用浅液流（NFT）



上：植物工厂冰菜生产 供图 / 李绍华

下：植物工厂小白菜生产 供图 / 李绍华

栽培技术，已平稳运行超过3年。在这个工厂里面，50名技术工人，每天稳定产出1.8吨绿叶蔬菜，全年产量高达650吨。生长最快的白菜品种从播种到采收只需要31天，每生产1千克蔬菜的用电消耗低于8千瓦时。因此，该工厂也成为全世界为数不多的能够真正实现商业化运行的大型叶菜类植物工厂。

目前，植物工厂叶菜类品种仍在继续增加，我们有理由相信，在不远的将来，任何一类叶用蔬菜都能够通过植物工厂生产出来，走向人们的餐桌。（撰文/李鹏 王金龙）



李鹏，博士，中国科学院植物研究所助理研究员，福建省中科生物股份有限公司总经理助理，主要从事植物工厂栽培技术研发和植物工厂运营管理。

王金龙，硕士，福建省中科生物股份有限公司厂长助理，主要从事叶菜类植物工厂生产管理。

左：金线莲 供图 / 李生云 右：霍山石斛 供图 / 李生云



药用植物植物工厂

我国是世界上使用和出口中草药最多的国家，而中草药的80%来自药用植物，所以，药用植物产业在我国有着特殊的意义。面对全球药用植物市场的需求不断攀升，药用植物材料遭到过度采挖，野生资源日渐枯竭，人工栽培早已成了满足市场需求的重要手段，但传统的人工种植存在诸如病虫害发生严重导致的农药泛用而药材农残严重、不同区域不同药农种植的药用植物外形特征各异、产量和质量稳定性差等诸多缺陷。

福建省中科生物股份有限公司成功突破了植物工厂内种植药用植物的生产技术，并于2018年建成了世界首个商业化药用植物工厂。植物工厂生产的药用植物产品优势在于产量高、周期短、无农残且质量稳定，最为重要的技术问题就是如何保证其品质？有效手段是在明确药用植物生理特性的基础上，综合考虑各环境因子的综合作用效果，选择运行成本低、效果好的调控手段进行优化控制。中科生物经过多年的科技攻关，突破了

植物工厂种植药用植物的技术难关，成功实现了高产优质的双重需求。通过在较大空间内优化环境条件，满足药用植物在不同生长阶段对特定生长条件的需求，达到最佳生长效果，缩短了生长周期，提高了生产效率。另一方面，利用植物工厂条件可控的优势，人为设计药用植物次生代谢调控措施，促进有效成分合成与积累，提高其药用价值。到目前为止，中科生物研发的紫外线辐射调控、矿质营养调控、干旱/盐/低温胁迫调控等技术措施都收到了积极的效果，成功实现了植物工厂药用植物产量高、有效成分含量高，且产品质量稳定和一致性好的目标。

植物工厂种植药用植物才刚刚起步，目前商业化生产的种类主要是兰科的金线莲和石斛。面向未来，植物工厂一定会保障药材卫生安全，提高我国中药材在国际市场上的竞争力，促使中药走向世界，最终成为拯救我国药用植物产业的诺亚方舟。（撰文/郑延海）



郑延海，中国科学院植物研究所副研究员，硕士生导师，福建省中科生物股份有限公司光生物产业研究院研究员，安徽省三安生物科技有限公司大健康产业研究院副院长。

茄果类蔬菜植物工厂

茄果类蔬菜是我们日常生活中常见的一类蔬菜，如各式各样的番茄、辣（甜）椒和茄子均属于该家族。

茄果类蔬菜具有植株高大、需强光照、生长周期长、生长量大等特点。由于茄果类蔬菜自身的生物学特性，除与其他类型植物工厂具有共同的特点外，茄果类蔬菜植物工厂还有自己的特点。首先，为了给它们提供足够的生长空间，栽培架层高通常0.8~1.5米，远远高于叶菜类蔬菜；其次，为了满足其光合作用，光照强度通常是叶菜类蔬菜的2~3倍，并需要对下部叶片补光；再者，茄果类蔬菜生长周期长，要经历营养生长和生殖生长阶段，最后以采收果实为目的，一次播种，多次采收，产量是普通设施栽培的5~10倍。

目前，茄果类蔬菜植物工厂在大规模商业化生产上还处于空白，能耗大、空间利用率低、产出比低在一定程度上限制了其植物工厂产业化进程。因此，选育低光需茄果类蔬菜新品种对实现茄果类蔬菜植物工厂的产业化具有重要意义。

近年来，随着光生物学与茄果类蔬菜植物工厂生产技术研究的发展，茄果类蔬菜植物工厂得以长足发展，最具代表性的是以中科生物在福建厦门建设的500平方米植物工厂中试实验室车间。其采用水培种植技术，加以温湿度的调控，完全杜绝了病虫害的发生，生产出安全、无农药的高品质番茄和甜椒。目前，该实验室在番茄、甜椒栽培的品种选择、高光效光谱、光质研究方面取得了较大进展，并将研究成果用于中试生产，为茄果类蔬菜植物工厂的产业化推广奠定了坚实基础。（撰文/刘正鲁）



刘正鲁，博士，福建省中科生物股份有限公司高级工程师，安徽省三安生物科技有限公司植物工厂厂长，主要从事植物工厂茄果类蔬菜栽培技术和生产管理工作。

左：蓝莓植物工厂 供图 / 孙晨光 右：未成熟的蓝莓果实 供图 / 刘国杰



果树植物工厂

水果是人类生活中不可缺少的食物。色泽艳丽、气味芬芳、汁多味美的各类水果丰富了我们的生活，也为我们的健康提供了不可缺少的营养。

千百万年来，果树都是在田野、山坡、河畔年复一年地生长、结实、繁衍的。长期的进化和对环境条件的适应，造就了许多果树在一年当中不同季节的生长规律，春华秋实，周而复始，这就形成了不同季节水果上市种类数量的差异，冬春很少，夏秋充足。有些不耐贮藏的水果过季后当年就很难再吃到，如蓝莓、草莓等。虽然有些水果可以通过现代贮藏技术保存较长时间，但其口感和新鲜程度都会大幅度地下降。

一年四季都可以吃到鲜美的水果一直是人们不断追求的目标，现在这个愿望终于可以实现了，科学工作者为果树找到了它们的新家——植物工厂。把果树种在环境条件完全由人工控制的植物工厂里，打破果树长期适应的暑往寒来规律，让果树按照人们需要的时间开花结果。

将果树栽种在植物工厂中，通过调节温度和光照时间，能够有效地调控果树的休眠期，实现

根据市场需求调整水果的上市期，并且可以实现一年多次结果、多次采收，同时使果实的品质达到最优状态。

目前由于技术条件、栽培空间和经济效益的限制，并不是所有果树都适合在植物工厂内进行种植。适合在植物工厂内栽种的主要是一些树体相对矮小、需光量少、需冷量低、果实耐贮藏性能差、附加值高的果树类型，如草莓、蓝莓、树莓等。

福建省中科生物股份有限公司已经开展了蓝莓的工厂化栽培，现阶段种植的蓝莓品种有‘薄雾’‘双丰’‘绿宝石’‘优瑞卡’等。其中‘薄雾’‘绿宝石’等为南高丛蓝莓品种，需冷量较低；‘双丰’为一年两次开花品种，丰产性佳。通过对不同品种特性的合理利用，充分发挥植物工厂果树栽培的优势，部分品种能实现持续不间断地开花与结果。

草莓的植物工厂化栽培也是当前的一大热点，具有广阔的市场前景。在未来不久的时间内，其他果树的植物工厂栽培也将会层出不穷。

（撰文/刘国杰）



刘国杰，中国农业大学教授，福建省中科生物股份有限公司研究员，主要进行蓝莓、草莓等果树工厂化栽培技术体系研究。



育苗植物工厂

幼苗期，是一株植物生长的最初阶段，其生长状况对后期植物的生长发育起着至关重要的作用。俗话说“三岁看小，七岁看老”，小的时候长得好不好，直接影响到老。人类是这样，植物也是这样，所以培育壮苗至关重要。

传统的壮苗培育以露地育苗、大棚育苗和玻璃温室育苗等单层育苗为主，占地面积大，育苗常常受到自然灾害、病虫害的影响，造成巨大的经济损失。应该如何解决以上问题，让培育壮苗变得更容易呢？研究人员发现，依据植物对温度、湿度、光照、水分、CO₂浓度、营养的需求，进行精准调控的植物工厂可以很好地实现培育壮苗。小苗们在植物工厂里生长发育，根本不受外界环境的影响，也不受地域的限制，在热带、高寒、海岛等环境恶劣的地区也能进行育苗。多层立体式植物工厂将一层变成多层，也解决了占地面积大的问题。植物工厂可以实现周年稳定、高效的育苗，是现在最先进的一种育苗方式，也是育苗产业的发展方向。

那么我们是如何利用植物工厂进行育苗的呢？

首先，将植物工厂分为播种区、催芽区、生长区、炼苗区、中控室及辅助间等功能区，涵盖了从播种到出苗的全部流程。全封闭、舒适的

洁净厂房，既没有虫害也不会传染病害，所以植株能无忧无虑、健康快速地生长。其次，育苗植物工厂为种苗的生长“私人订制”了育苗专用光谱、育苗专用灯、营养液配方以及育苗栽培技术。在优渥舒适的“家庭环境”和“因材施教”下，小苗们不仅生长健壮、茎干粗壮、不徒长、根系发达，而且定植后生长良好，适应性强，结果快，果实数量多。最后，也是最重要的，是育苗植物工厂使用的多层立体式、可移动式育苗模组，单位面积可培育的壮苗数量多，方便使用和移动，可减少单位面积育苗和搬运的成本，与传统育苗相比，经济效益更高。这一套育苗技术已经从实验室走向生产，实现了植物工厂育苗的产业化。

育苗植物工厂作为新产业，目前适宜的种类有番茄、甜椒、黄瓜和叶菜类等蔬菜，西甜瓜以及苗木、花卉、药用植物等经济价值高的作物。面向未来，育苗植物工厂的形式和规模会更多样化，在中、高端自根苗、扦插苗和嫁接苗市场中的地位也会越来越高，能够保障育苗产业向更安全、高效、稳定、全面的方向发展，为我国农业发展奠定良好基石，促进我国育苗走向世界。（撰文/李晶）



李晶，博士，中国科学院植物研究所助理研究员，福建省中科生物股份有限公司高级工程师，主要从事植物工厂栽培技术、品种筛选和育苗技术研发。

左：家庭式植物工厂装备 供图 / 周青青

右：桌面多功能植物工厂装备 供图 / 周青青



家庭式植物工厂

人类活动影响着环境，生活行为、工农业生产方式都在严重污染着环境。重金属、有机废弃物、农药、抗生素的滥用严重影响了人们的食物安全，许多人都向往着在家中能有一块属于自己的菜地来实现种着舒心、吃着放心的理想。但是，现代城市集聚化的居住条件，忙碌的工作学习压力下，这个理想似乎很渺茫。

在这一需求的推动下，家庭式植物工厂开始走入人们的家居庭院中。立体化栽培有效地节省了占地面积，无土化栽培洁净卫生又安全，LED植物照明让人们不用困扰于室内光线昏暗，智能化温控系统可以根据家居环境及植物需要进行温湿度调节，营养液循环系统不用担心缺水缺肥，以上这些帮你实现轻松种出放心菜的愿望。一台冰箱大小的立柱式家庭用植物工厂，即可提供一家三口每日的一道新鲜蔬菜，不仅可以解决“食之忧”，还可以美化家居环境，更为都市中成长的儿童带来耕种体验和现代农业科技知识，充分感受“植之乐”。

许多人喜欢在家里种植一些绿植来美化家

居环境，但往往苦恼土会弄脏地面，还会担心小虫子乱飞。家庭桌面用植物工厂，小巧美观，由于不使用土壤，营养条件可控，洁净易管理，也开始出现在人们的几上案头。增加了LED照明灯的桌面用植物工厂，还可以兼具照明的功效，举杯执箸，伏案抬头间，映入眼帘的绿色也会给人增添轻松闲适之感。

大型植物工厂种植的蔬菜瓜果等植物，大多数都可以在家庭小型植物工厂内种植，许多花卉品种也都适合于水培。用种子萌发的花草，如三色堇、金鱼草、矮牵牛、菊花、康乃馨、天竺葵、紫罗兰等，通过扦插或球茎栽培的金钱草、绿萝、吊兰、白掌、滴水观音、常春藤、富贵竹、长寿花、非洲堇、风信子、朱顶红等等，使你的家居一年四季春意盎然。

在栽培过程中，根据需要定期补充和更换营养液，通用型、专用型的营养液都可适用。好的营养液应该能满足植物生长的需要，使植物叶色亮绿，花果繁盛，并且在植物生长过程中稳定易调节。（撰文/龚化勤）



龚化勤，中国科学院植物研究所植物工厂研发中心助理研究员，福建省中科生物股份有限公司高级工程师。

集装箱植物工厂

世界上每年废弃的集装箱有100万个,而其中,中国每年废弃的占30%,达30万个。集装箱与植物工厂相遇,会碰撞出怎样的火花呢?废弃集装箱在精心设计后,与植物工厂完美结合,既能循环利用,又能突破传统农业生产的地域限制,提供高质量的蔬菜瓜果等产品。

集装箱植物工厂是利用集装箱,添加生产系统和环境控制系统的一种微型智能化植物工厂类型。区别于普通的植物工厂,集装箱植物工厂具有独特的特点与优势。

1.上山下海

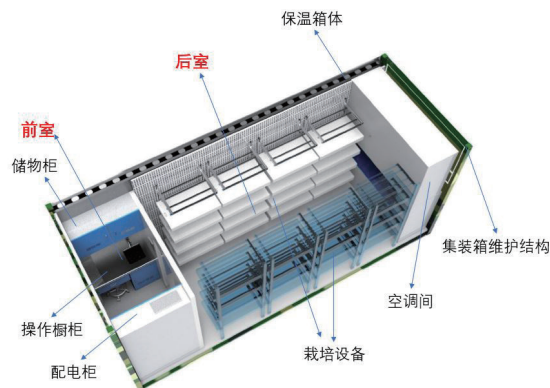
可移动性强,适用地域广泛,可在远洋货轮、边防哨所、高山海岛、海军舰艇等场地周年持续和稳定地供应蔬菜,实现较小人群的鲜活蔬菜自给。中科生物开发出的高海拔型能源自给集装箱式植物工厂已经列装西部某军区,首次在海拔4300米以上的无人区安全越冬,并实现蔬菜持续生产和供应。

2.一体化设计

系统集成和产品组件模块化,便于运输和安装。集装箱植物工厂安装牢固,外部整洁,通常无外挂件,尤其适用于远距离运输和在复杂的地理环境条件下安装。

3.自动化控制

配有完备的智能化环境监测控制系统,可监测集装箱内外温度、湿度、CO₂浓度等数据,同时实现LED光源、风机和水泵等自动化控制,最大程度地实现资源的高效利用。



上: 集装箱式植物工厂结构示意图 供图/陈营

下: 集装箱式植物工厂 供图/吴伟祥

4.小空间释放大能量

栽培架模组强度高,外观简洁,维护方便,采用自动化水循环系统,节省人力,实现智能化生产。(撰文/宁秋实)



宁秋实,中国科学院植物研究所博士后,福建省中科生物股份有限公司高级工程师,主要从事药用植物栽培技术研究。

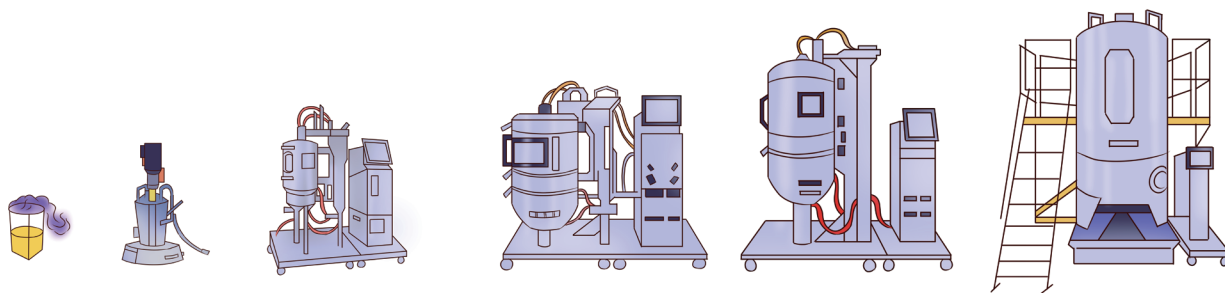
生物反应器植物工厂

利用植物生产疫苗、抗肿瘤抗体以及其他蛋白?听起来是否感到不可思议?没错,利用整株植物或者植物细胞作为生产工具,生产高价值的药物蛋白,目前已经成为现实,这便是生物反应器植物工厂。

生物反应器植物工厂是在植物工厂中,利用植物自身的生化反应过程,来规模化生产具有重要功能的药物蛋白或小分子化合物。传统的生物反应器,是利用动物细胞或者微生物,在巨大的金属发酵罐里生产蛋白,由于蛋白修饰加工、产品安全、工艺放大与控制、生产成本等问题,限制了其应用。与传统的生物反应器不同,生物反应器植物工厂主要以整株植物、植物组织或者植物悬浮细胞为加工场所,来生产药物蛋白。以整

株植物作为生物反应器主要通过转基因或者植物瞬时表达技术来实现,以活植物个体作为生物反应器,稳定或瞬时表达多种外源蛋白。还可通过植物组培或悬浮细胞培养技术,在以生物反应器为核心的药用植物工厂中,规模化生产珍稀和濒危药用植物中的重要次生代谢产物。

在生物反应器植物工厂中,能够很好地控制所需要的环境条件,比如光、pH、溶氧、CO₂浓度、环境温度及营养液等,从而使整个生产过程不受地域、季节、天气等因素影响。加上植物瞬时表达技术的应用,将大大缩短药物蛋白的生产周期。例如,将PD-1蛋白(K药)表达载体通过农杆菌介导,转化到已生长为一定大小的生菜体内,之后在植物工厂中培养4天即可收



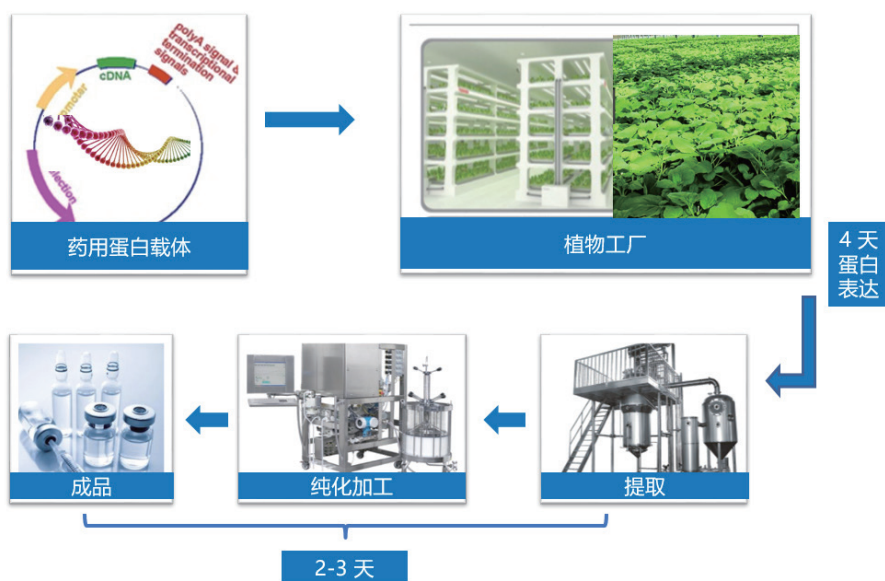
传统生物反应器放大量与控制较难: 传统生物蛋白药业都遵循生物反应器/发酵罐的一个生产工艺放大过程 绘图 / 杨丽莎



植物反应器以单株植物为反应器, 放大量产只是植物数量的变化

利用植物生产药物蛋白的流程示意图 供图 / 王跃驹

植物瞬时表达蛋白技术平台



生物反应器植物工厂生产基地 供图 / 王跃驹

获,经过2~3天蛋白提取纯化便可得到药物,整个生产周期仅为一周。除此之外,生物反应器植物工厂还具有成本低、生物安全性高等优点。

目前,生物反应器植物工厂已逐渐在世界范围内兴起。美国iBio公司的大型生物反应器植物工厂流水线,每年能够处理约3500公斤的植物,提纯后可获得约150公斤的纯化药用蛋白及抗体。目前,北京睿诚海汇公司也将建立我国首家符合GMP标准的规模化生物反应器植物工厂,实现利用植物生产药物蛋白。

将植物工厂应用在植物生物反应器,有着广阔的研究前景和商业价值,可以在很大程度上提高药用蛋白及小分子化合物的生产效率、缩短生产周期、提高产量,从而大幅度降低昂贵药物的价格,为生物制药提供一种更加高效、安全、绿色的生产途径,这可能给整个生物制药行业带来一场革新。(撰文/王治 王跃驹)



王治,中国科学院植物研究所助理研究员,福建省中科生物股份有限公司高级工程师,主要研究药用植物有效成分表达调控和提取分析。

王跃驹,北京睿诚海汇健康科技有限公司董事长、首席科学家,主要运用植物瞬时表达技术生产药物蛋白。