

## 第五章

# 植物工厂实例

植物工厂的发展经历了半个多世纪,技术上不断创新与完善,并先后出现了多种形式的实用模式,为植物工厂的进一步发展提供了有益的借鉴。本章采用大量的照片和图表对植物工厂的建筑结构、工艺流程、配套设备和生产试验模式等作了较为详细的介绍。

### 第一节 神内植物工厂

神内植物工厂是日本神内农场—21的主要生产实体,该农场位于日本北海道中部地区桦户郡浦臼町,距札幌市80km左右,建成于2001年。总投资5.6亿元人民币,其中植物工厂建设投资为2.8亿元人民币,这是迄今为止日本乃至世界上设备最精良、技术最先进、投资最多的植物工厂。植物工厂的类型既有人工光利用型,也有人工光和太阳光并用型。照片5-1为植物工厂外貌。图5-1为神内植物工厂平面示意图。表5-1为该植物工厂建筑构成概要。表5-2为植物工厂内蔬菜生产流程。该流程显示的是两个生菜品种“沙拉莴苣”和“桑秋莴苣”的定期生产过程。现通过实例介绍神内植物工厂的生产流程与关键设备。



照片 5-1 神内植物工厂外貌

表 5-1 神内植物工厂建筑构成概要

总面积	8 828.46m <sup>2</sup>
地下一层	管道铺设 644.76m <sup>2</sup>
一 层	面积 6 384.21m <sup>2</sup> ，其中： 太阳光与人工光并用型温室（4 间） 3 042.00m <sup>2</sup> 人工光温室（9 间） 608.40m <sup>2</sup> 育苗室 202.80m <sup>2</sup> 预冷室、防露室、平台、锅炉房、机械室等
二 层	面积 1 791.99m <sup>2</sup> ，其中： 栽培管理室 202.80m <sup>2</sup> 太阳光与人工光并用型温室（8 间） 464.10m <sup>2</sup> 人工光温室（4 间） 202.80m <sup>2</sup> 大厅、电气室、仓库等
附属设备	贮冰槽（2 槽） 928.20m <sup>2</sup> （522.60m <sup>2</sup> + 405.60m <sup>2</sup> ）

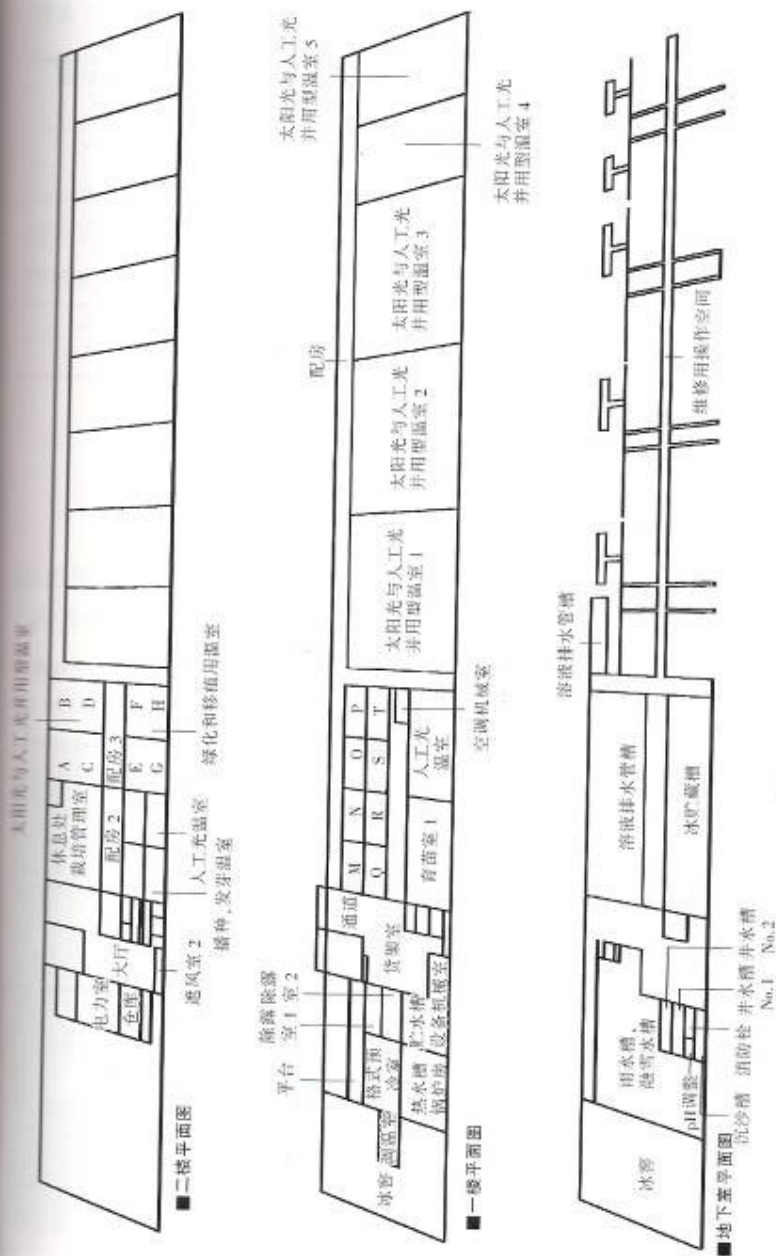


图 5-1 神内植物工厂平面示意图

表 5-2 神内植物工厂“沙拉莴苣”和“桑秋莴苣”生产流程

作业时期	作业室	植物滞留时间
播种、催芽	播种室、催芽室	2~3 天
绿 化	太阳光温室 A	1 周
苗 化	太阳光温室 A-D	3 周
栽 培	太阳光温室 1~3、人工光温室	3~7 周
收 获	太阳光温室 1~3、人工光温室	0.5 天
包 装	防露室	0.5 天
冷 藏	预冷室	0.5~3 天
上 市	移动起重机、冷藏车	0.5 天

## 一、生产流程

### 1. 播种、催芽

播种的箱板是用海绵垫和白色塑料泡沫制成的，通过专用机械将海绵垫浸泡在箱板内。使用播种盘将种子播入海绵垫上的凹孔内。每张海绵垫播种 300 粒（25 穴 12 列）。育苗箱板尺寸为 300mm×600mm。播种后将箱板置于催芽室内 2~3 天促其发芽。催芽室内的环



照片 5-2 催芽室外观

境条件为:无光、恒温(23℃)、恒湿(相对湿度95%~100%),照片5-2为催芽室外观。

### 2. 绿化(照片5-3)

出芽后的植物被移动到人工光和自然光并用型温室内,经过1周左右的时间使其绿化。所谓绿化就是通过光照促进在暗期发过芽的植物形成叶绿体,为光合成做好准备。在植物工厂里,虽然夏季可



照片5-3 绿化

以利用普通温室进行绿化,但在冬季,为了控制温度和光环境,就要利用太阳光、人工光并用型温室来进行,以便必要时补光。

### 3. 苗化(照片5-4)

植物体经过绿化、开始光合成之后,就要移植到含有营养液的栽培床中生长。播种用的海绵被平均切割成一个个正方块,每一块上的一株植物都被分离开来移植到水培用的苗床之中,在3周左右的时间里都可以作为小苗来使用。移植密度考虑到苗化结束时的单株大小,一般情况下,在585mm×880mm的床板上可以种植120株(15株×8列),即密度为233.1株/m<sup>2</sup>。



苗化期的环境控制包括温度、光照及营养液浓度(EC)、营养液温度的控制。温度控制的手段主要是换气、制冷与制暖,而光环境的控制则是用高压钠灯来补光,补光时的光合成有效辐射强度为 $55\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,用遮光幕来遮光。



照片 5-4 苗化

#### 4. 栽培

##### (1) 沙拉莴苣

在太阳光 2 号温室配置有栽培床,床体可移动,在床体与床体之间的空隙内可以从事自定植到收获阶段的作业。定植后的栽培密度为每个  $585\text{mm}\times 890\text{mm}$  的床板种植 16 株(4 株 $\times$ 4 列),即  $30.7\text{株}/\text{m}^2$ (照片 5-5)。

太阳光 3 号温室里有固定式水培床,上边的栽培床板通过多功能机器人来移动。这种作业方式,仅限于定植及收获时采用。定植后的密度为每个  $585\text{mm}\times 1040\text{mm}$  的床板上种 16 株(4 株 $\times$ 4 列),即  $26.3\text{株}/\text{m}^2$ (照片 5-6)。

##### (2) 桑秋莴苣(采叶型)

采叶型是指只采收成熟叶片的品种。采叶型品种“桑秋”定植于太阳光 1 号温室,收获时先从生长成熟的叶片由下而上依次采收。一



照片 5-5 定植

每次每株可采收成熟合格叶片 4~5 张,每株可采收 30~35 张。采收期为 10 天左右,全部收获结束之后继续种植,到了叶片成熟时又重新收获。定植后的栽培密度为每个 585mm×885mm 的床板上种 12 株(4 株×3 列),即 23.2 株/ $m^2$ 。栽培“桑秋莴苣”用的水培苗床是基本固



照片 5-6 栽培床

定的,但苗床之间也可以微调移动,中间的空隙可以作业。

### (3) 桑秋莴苣(采株型)

采株型是指整株采收的品种。采株型的“桑秋”定植于人工光温室,经过3周时间就可以收获。人工光温室的光源是荧光灯,在人工照明下进行栽培。利用荧光灯可以形成多层次立体床体栽培系统。虽然采用金属卤化灯和高压钠灯可以获得高强度的光源,但由于考虑到光环境的均匀性及辐射热的影响等因素,必须使灯与植物体之间保持较大间隔,这样一来,虽然保证了植物生产的良好空间,但同时却造成了空间的浪费。而利用荧光灯这一冷光源,不仅可以使这一间隔缩小,提高栽培的空间利用率,而且不会烤伤作物。此外,为了提高人工照明条件下光环境的控制能力,必须使植物收获生长期控制在不受季节限制的稳定期间。定植后的栽培密度为每个 $585\text{mm}\times 885\text{mm}$ 床板种植12株(4株 $\times$ 3列),即 $23.2\text{株}/\text{m}^2$ 。栽培床为4层(实际利用为3层),每床的栽培密度很高。

## 5. 收获



照片 5-7 机器人和人工相结合的收获情景



收获时采用机器人和人工相结合的方式(照片 5-7),机器人按照获计划指令将栽培板上待收获的蔬菜依次搬运到作业台,人工辅作业的内容是清除蔬菜的根部,对产品进行初步筛选,整理好收获的栽培板,将合格的收获物摆在塑料箱内用手推车搬动。植物工厂虽然也安装了自动搬运机械设备。但是,考虑到生产成本等因素,一设备在平常并不使用,只是为参观者、游客演示搬运时才用(照片 5-8)。



照片 5-8 机器人运输

## 6. 冷藏

预冷是蔬菜运输或贮藏前进行适当降温处理的有效措施。通过预冷可以降温,抑制蔬菜采后的生理生化活动,减少微生物的侵染和营养物质的损失,提高保鲜效果。预冷的方法有多种,这里采用的是冷库预冷。采收过的蔬菜被立即送到预冷室预冷。预冷室温度控制在 $4\sim 5^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度接近 100%,常年不变。一般情况下,冷藏保存时要利用冷冻设备制冷。值得一提的是,这里是利用从冰窖里提取出来的冷

气进行冷藏的(图 5-2)。

#### 7. 包装(照片 5-9)

蔬菜收获后被搬运到防露室。沙拉莴苣和采株型的桑秋莴苣用塑料袋包装,沙拉莴苣每袋一株重量为 70g 以上。采叶型桑秋每 10 张叶片用一个聚乙烯塑料盒包装。所有产品的包装袋(盒)上都有神内公司的注册商标,然后用纸箱打包,纸箱上注有产品收获日期、规格、数量等标识。



照片 5-9 包装生产线

#### 8. 上市

在生产进行之前,神内公司就已经与有关批发商达成供销协议,对产品的数量、规格、上市日期等都有详尽的合同和周密的计划,整个产品就是围绕这些合同与计划进行的。出售时一般都是每天用保鲜冷藏车运货。有时也通过专递公司运送。送货地点包括拍卖中心、批发市场,有些直接送到超市,但不直接售给消费者。

## 二、关键设备与特征

神内植物工厂内拥有许多先进的设备,现将与生产密切相关的设备及特征介绍如下:

### 1. 空调、换气系统

太阳光温室在夏季高温季节气温上升时,首先开启换气扇使温度降下来。如果开启换气扇也降不到设定的温度时就要启动细雾加压泵用雾喷系统进行冷却。同时,温室内还有一套冷气输送装置。供冷系统的运转是通过送气装置和空调装置进行的。其冷热源是利用季节性蓄热系统,高温时要运转空调和换气系统,当室外日照量超过设定值的时候,还要使用遮阳网,不让放射热进入封闭的温室内部以防止温度升高。人工光温室内夏季降温的措施是空调和换气系统,原理与太阳光温室相同。

### 2. 冷热源

#### (1) 太阳光温室供冷

太阳光温室供冷用的冷热源,采用的方式是冰蓄热空调。这里的设施与通常的冰蓄热系统差异很大,是利用冬季的冷气制作冰块蓄积冷源,到了夏季则利用蓄冰供冷,是一种“季节性蓄冰制冷系统”。图 5-2 所示为季节性蓄冰制冷系统概念图。

贮水池深为 1.8m,用于制冰贮藏。制冰的方法是先放入设定量为 20cm 深的水,待这一层水结成冰之后再放入等量的水,反复积累直到 1.8m 为止。该系统是神内植物工厂与日本大成建设公司共同开发的专利技术。在这里,充分利用北海道得天独厚的冰雪资源(年降雪 13m 左右),通过漫长冬季户外的冷空气,制成 1000t 的冰,到了夏天,通过提取冷水进行热交换。这是一种节能效果极佳的环保型冷热交换方式。

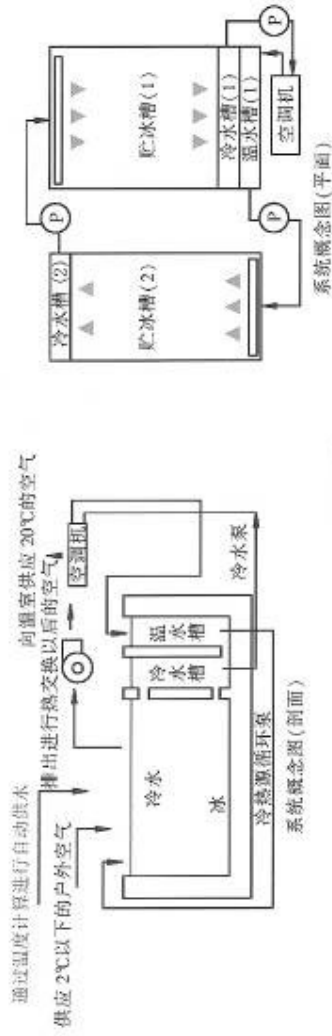


图 5-2 季节性蓄冰空气调节系统示意图

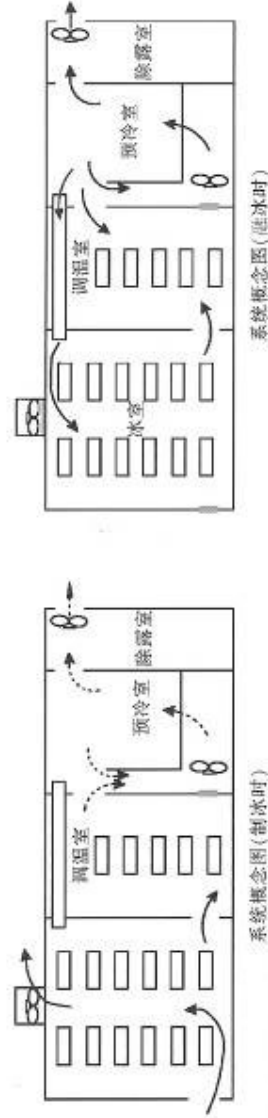


图 5-3 冰窖式蔬菜贮藏库系统示意图



对植物工厂来说,目前面临的一个最大问题就是用于温度控制(冷暖气设备)和光能源的成本。在植物工厂里,积极地采用这种清洁型能源,不仅可以大大节约能耗成本,有利于环境保护,促进植物工厂的快速发展,而且对其他相似地区和企业也会起到很好的借鉴作用。

### (2) 预冷室冷却

预冷室的冷源也是采用冬季冷气蓄积系统。在这里,有一个可容纳4100个托盘的冰窖,预先将水注入托盘内,再把托盘一个个置放在高6m的棚架上(照片5-10)。冬季通入 $0^{\circ}\text{C}$ 以下的室外冷气,将托盘内的水制成冰,该冰窖可贮冰1000t,主要用于夏季上市蔬菜的预冷。



照片 5-10 贮冰室内景

### (3) 水热源泵

水热源泵用的冷热源,使用的是安装在室外的冷却塔。预冷室(照片5-11)的常年温度保持在 $4\text{--}5^{\circ}\text{C}$ ,湿度在90%以上。

### 3. 温热源

太阳光温室供暖时的热水管道、融雪管和水热源泵的温热源,用





照片 5-11 预冷室

的都是高压蒸汽锅炉,锅炉房建于地下。

#### 4. 栽培用照明

栽培用的照明有两种,在太阳光温室 A-H 的 8 个车间里安装的是高压钠灯,用于补光照明,而人工光温室照明设备安装的是荧光灯。太阳光温室补光时的光合成有效辐射强度为  $55\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,人工光温室的光合成有效辐射强度为  $190\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

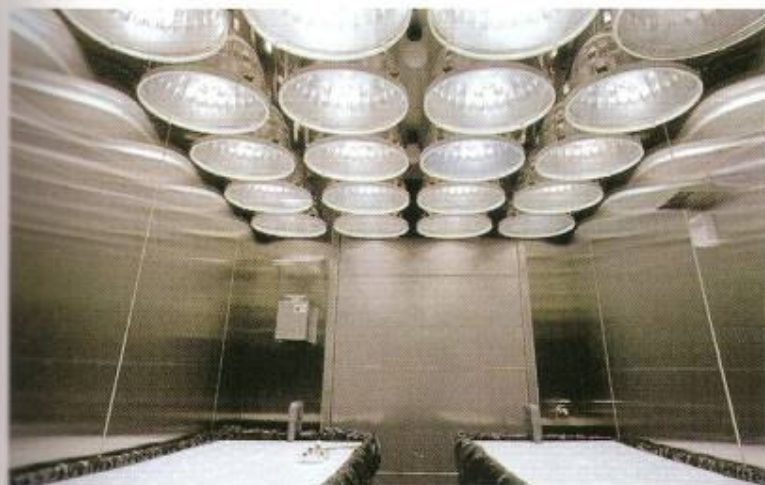
#### 5. 营养液加温、冷却

营养液加温用的是高压蒸汽锅炉,通过不锈钢管铺设于栽培室内传热加温。冷却用的是空调机。太阳光温室有时还要辅之以通风、遮阳、开窗等措施。

#### 6. 融雪

融雪用的热源是高压蒸汽锅炉,屋顶内侧装有热水管,屋外屋顶装有融雪管道,热水通过融雪管道将雪融化。

### 7. 人工模拟气候室(照片 5-12)



照片 5-12 人工模拟气候室

这是一个能精确控制植物生长环境的人工模拟气候室。在这里可以模拟地球上多种多样的环境因子,同时设计有深液流水耕栽培装置和营养液循环系统,可以进行各种环境条件下的作物生长比较实验和水耕栽培试验。

### 8. 化验分析室

为了对所生产的蔬菜品质和营养液成分等进行化学分析和研究,神内植物工厂专门设置了化验分析室,配有色谱分析仪(照片 5-13)、原子分析仪、有机化合物混合分析仪、原子吸光分析装置(照片5-14)、超净工作台、高压蒸汽灭菌装置等。



照片 5-13 色谱分析仪



照片 5-14 原子吸光分析仪

## 第二节 TS 式植物工厂

### 一、设备概要与特征

TS 即 Triangle Panel(三角板)和 Spray(喷雾)的简称,照片 5-15 和照片 5-16 分别为 TS 植物工厂外貌和内景,图 5-4 所示为该模式的断面图。TS 式属于人工光完全控制型植物工厂,采用的是喷雾培方式,利用这种方式可以实现立体化栽培,与传统的平面式栽培相比可以说是生产方式上的一次飞跃。

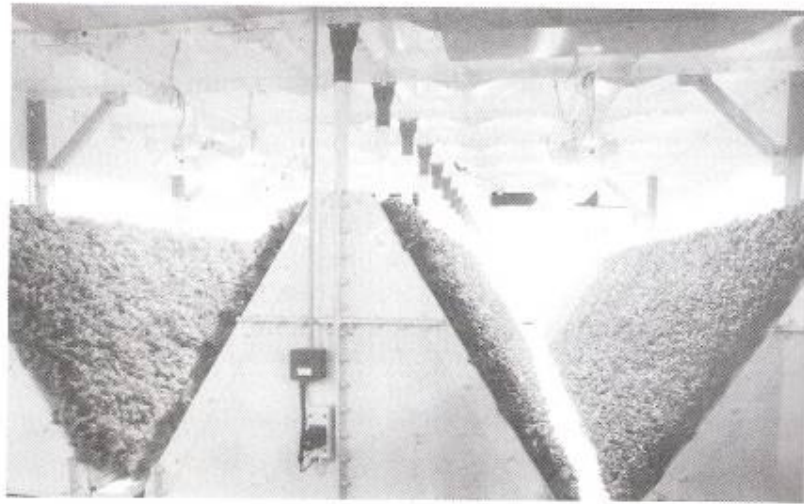
该模式具有四大特征:



照片 5-15 TS 式植物工厂外貌

#### 1. 封闭式构造, 完全控制型

温室内墙利用隔热材料,双重结构,可人工调控室内环境,不受季节变化的影响。一年之中可以定时、定量、定品质地进行植物生产,从播种到收获的周期是稳定的。



照片 5-16 TS 式植物工厂内景

## 2. 采用人工光源, 不受地域限制

无论是在大楼之间的通道、多雪地区、大厦地下室还是在沙漠地区甚至极地环境下等都可以进行同样的生产, 获得同样质量的产品。同时, 由于是封闭结构, 室内与大气和土壤隔离, 防止了病虫害的侵入, 可以实现完全无农药生产。

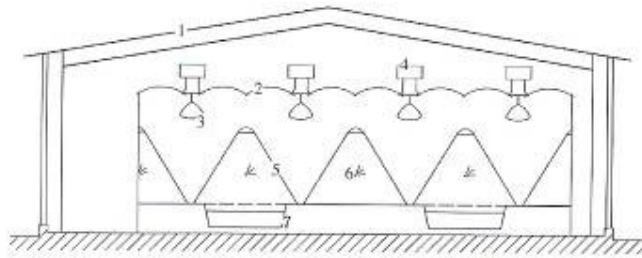


图 5-4 TS 式植物工厂断面图

1. 隔热密封屋顶 2. FRP 板 3. 高压钠灯 4. 风机 5. 栽培板  
6. 营养液喷头 7. 贮液池

注: FRP 板是一种热固型塑料, 主要成份为强化玻璃纤维和聚酯树脂混合物



### 3. 喷雾培

营养液通过喷雾装置雾化后直接从栽培板下面喷到植物的根系上,由于根系是暴露在栽培板下面的,所以根能够从空气中吸收到必需的氧,很好地解决了根系的水气矛盾,不用担心深液流水培方式营养液中溶解氧不足的问题。有些品种的蔬菜与传统的水培方式相比管理更方便。营养液采取循环供液方式,从贮液池中流出,喷到植物根部,再把喷出来的营养液经过过滤回收到贮液池中循环使用,与普通的深液流栽培方式相比用液量少,废液的处理也比较容易。

### 4. 栽培板

作物种植在栽培板上,栽培板按照三角形拼合排列,呈“A”字形立体栽培,单位栽培面积的利用率是平面式的2倍以上,不仅大大提高了温室的空间利用率,而且节省了同等面积的空调运行费用,节约了能源。栽培板采用泡沫塑料板,底部装有滑轮,轻轻一推即可移动。

这种方式可以种植的作物品种主要有蔬菜类(莴苣、菠菜、三叶芹、春菊等)、药草类(百里香、薄荷、龙蒿、柠檬菜等)、切花类(玫瑰、香石竹、金鱼草等)。为了提高生产效率和便于管理,这种生产方式多是栽培一些小株型的叶菜类作物。

## 二、环境控制

通过计算机对光、温、湿、CO<sub>2</sub>、营养液等环境要素进行自动控制,计算机中心可以同时控制几个植物工厂,相隔较远的几个工厂也可以通过电话、网络或遥控方式实行自动化管理。植物工厂内配有自动报警装置,即便是出现故障也可以把损失减轻到最低程度。

在TS式植物工厂里环境控制是最重要的组成部分,该系统内PPF(Photosynthetic Photon Flux 即光合成有效光量子束)、光照时间、气温、湿度、风速、CO<sub>2</sub>浓度、培养液的EC和pH以及喷雾时间可自动



调控,植物生产空间的照明光源为改良型 940W 高压钠灯,育苗棚光源为改良型 360W 高压钠灯,催芽棚的光源为 40W 白色荧光灯。PPF 主要通过选择不同功率的光源和改变设备位置以及安装遮阳网来调控。该系统在光利用方面还存在以下问题:① 由于光利用效率低,造成一些光饱和点高或生长期长的植物的生产成本太高,所以限制了可栽培的植物种类;② 由于光质无法调控造成某些植物形态异常,有的则造成味道与食感等方面品质下降;③ 植物栽培面光强度不均匀、发光效率的损失和空调热负荷过高;④ 高压钠灯的使用寿命短而造成的消耗品费用高和废弃物多。为了减少光照期间的空调负荷,该工厂通常把光照时间设置在深夜,以降低生产成本。

### 三、生产能力与运行

TS 式植物工厂建筑面积 500m<sup>2</sup>,其中栽培面积 290m<sup>2</sup>。生产能力为沙拉莴苣 1 200 株/日,44 万株/年;散叶莴苣 930 株/日,34 万株/年。

以使用年限 25 年,折旧期 10 年,贷款利率 5%,长期作业员 1 人和辅助作业员 4 人来核算,运行成本大致为:照明和空调等电器设备耗电费占 15.6%,消耗品及杂费占 14.8%,人工费占 23.0%,折旧及偿还贷款利息占 25.4%,材料及运输费占 21.3%。

### 第三节 KL 式植物工厂

KL 式植物工厂是由日本川铁生命株式会社于 1999 年在兵库县三田市建成的,其结构见图 5-5。面积(一期)为 1700m<sup>2</sup>,二期工程同等面积。植物工厂内包括连栋实验室 4 间,具体实验内容包括:① 利用多种栽培技术手段克服作物生理障害;② 经济实用性的补光方法;③ 探索 CO<sub>2</sub> 施肥规律;④ 高产与优质蔬菜栽培方法等。同时,为

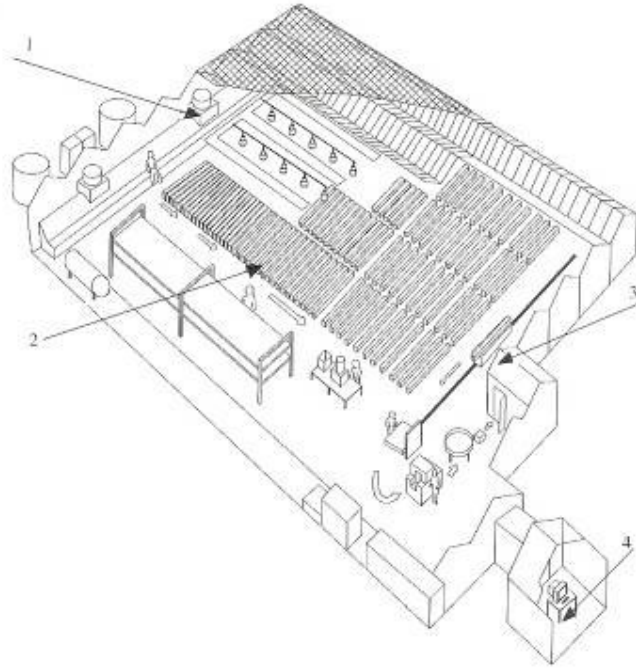
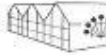


图 5-5 KL 式植物工厂示意图

1. 气化潜热利用型节能制冷系统
2. 株距调整装置
3. 自动播种机、搬运机器人、收获机、包装机等自动化系统
4. 光、温、CO<sub>2</sub>浓度、营养液等环境综合控制系统

为了保证植物工厂蔬菜产品的安全性，在 KL 式植物工厂内执行了 HACCP 方法(Hazard Analysis and Critical Control Point)。植物工厂卫生管理参见图 5-6。



## 1. 设施概要与设备特征

### (1) 温室设备

连栋钢架玻璃温室,顶开窗式,檐高 4m,跨度 8m。天窗及通风口有防虫网(网眼直径为 0.4mm),出入口为双重门,内有风淋机、风机。

### (2) 栽培设备

①播种。自动播种机

②发芽。恒温恒湿发芽室,温湿度控制仪、多层式育苗床

③育苗。塑料穴盘

④生产车间。NFT 式栽培系统,密度自动调整设备

⑤收获。采收工作台、采收机、水槽清洗机、空槽返回装置

⑥包装。皮带输送机、自动包装机、低温库

### (3) 环境控制设备

环境控制包括数据采集与控制系统两部分组成,具体由计算机来完成。

① 计算机采集并显示的数据包括:

外部气象数据(温度、湿度、风向、风速、雨量);室内温度、湿度、CO<sub>2</sub> 浓度、液温、EC、pH 以及设备运行状况。

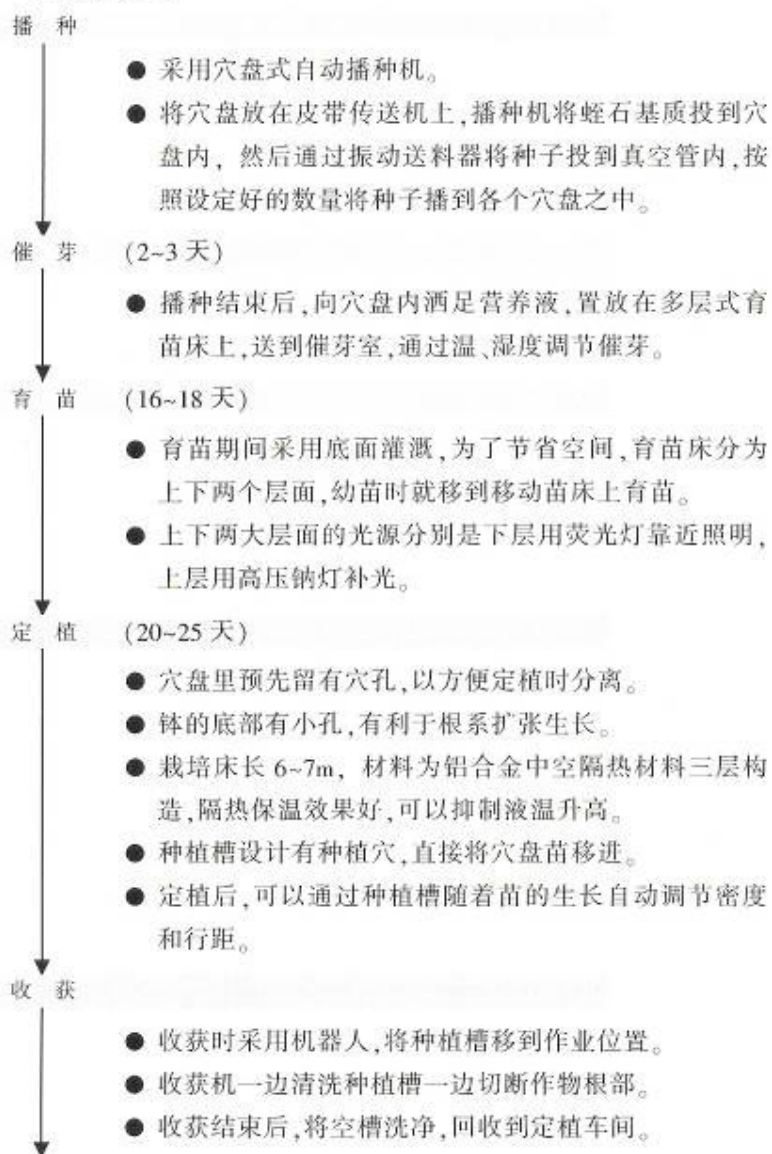
② 控制项目包括:

制暖设备、保温幕、天窗、百叶窗、送风机、换气扇、空调机、遮阳网、补光灯、CO<sub>2</sub>、EC、pH。

### (4) 栽培作物

栽培的作物主要有沙拉莴苣、半结球莴苣、菠菜、药草等。

## 2. 栽培流程





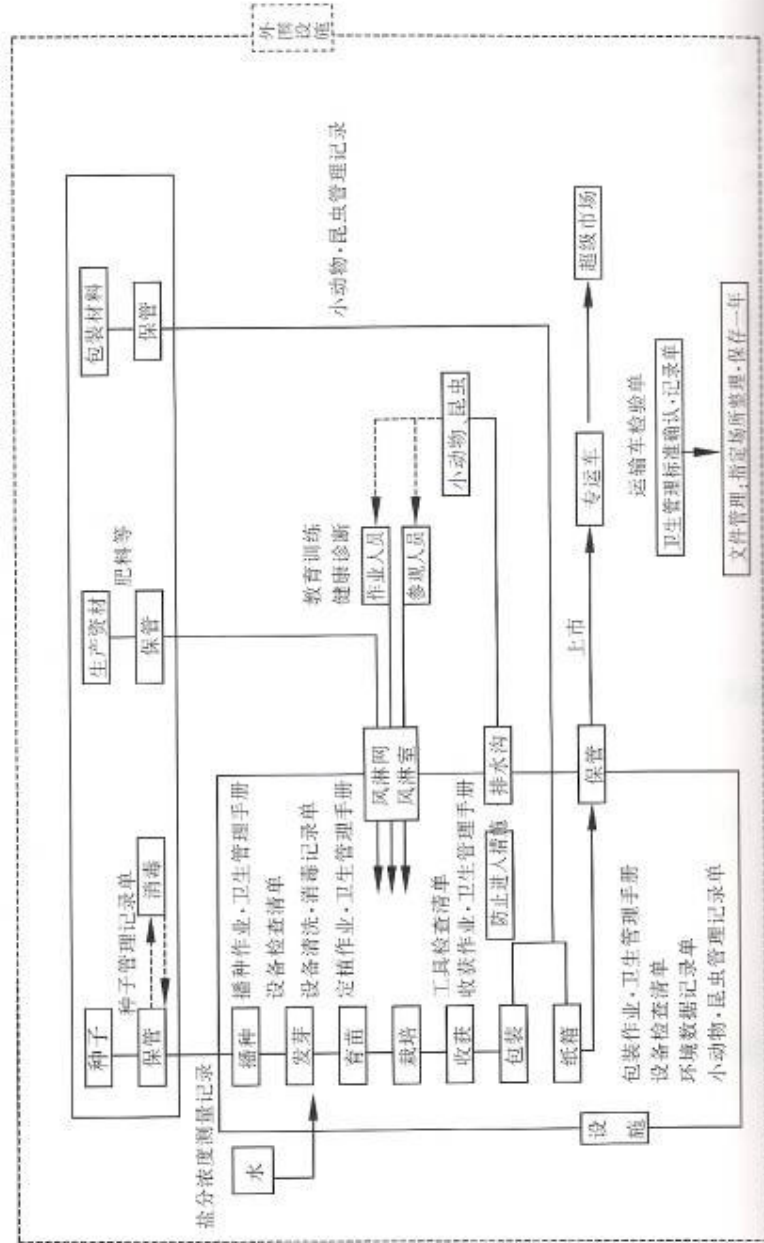


图 5-6 植物工厂卫生管理标准流程图(日本植物工厂振兴会)

## 第四节 电中研式植物工厂

日本电力中央研究所是日本最早研究开发植物工厂的机构之一,先后研究开发出许多类型的设施,统称之为“电中研式植物工厂”。从栽培方式的角度来分,可以把这些类型分为单层式和双层式两种。现分别简要介绍如下:

### 一、单层式

#### 1. 设施概要

图 5-7 所示为该系统内部示意图,建筑总面积 1096m<sup>2</sup>,其中温室面积 860m<sup>2</sup>(栽培室 600m<sup>2</sup>,育苗室 54m<sup>2</sup>,管理室 107m<sup>2</sup>)。属太阳光人工光并用型。白天阳光过强时采用两层遮阳网遮光隔热,补光时采用 200 只 400W 的卤素灯,育苗室为 76 只 110W 的荧光灯。植物工厂内

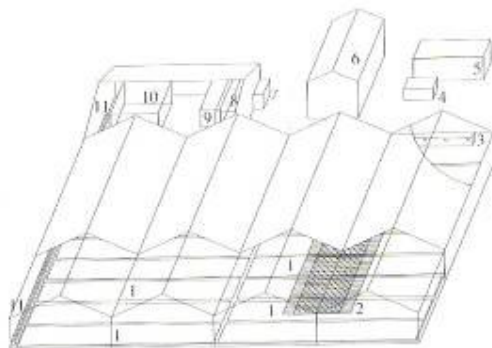


图 5-7 日本电力中央研究所植物工厂(单层式)内部示意图  
(电力中央研究所,1988)

- |          |         |        |             |
|----------|---------|--------|-------------|
| 1. 栽培区   | 4. 温水槽  | 7. 贮藏室 | 10. 作业室     |
| 2. 双层遮阳网 | 5. 水箱热槽 | 8. 育苗室 | 11. 蔬菜采收传送带 |
| 3. 热交换器  | 6. 机械室  | 9. 管理室 |             |

的湿度控制在 70%~80% 之间,室温白天为 25℃ 左右,夜晚为 20℃ 左右,CO<sub>2</sub> 浓度控制在 1000 μl/L 左右(图 5-8)。

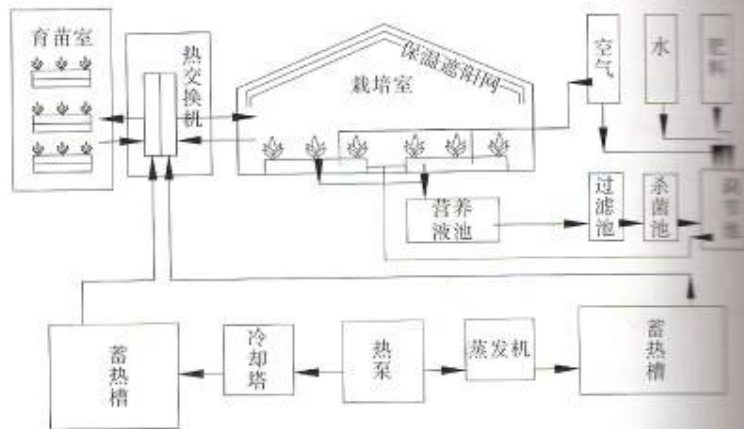


图 5-8 日本电力中央研究所植物工厂(单层式)侧视示意图

## 2. 栽培系统

该系统采用 DFT 方式栽培。通过变化栽培行的行距来加速植物的生长和充分利用空间。系统内单茬可种植 150 万株不同苗龄的生菜,每个定植板栽培 360 株。一个栽培床可放置 8 组栽培槽,每一个栽培槽可根据作物种类的不同而放置数量不等的定植杯(栽培钵)。栽培床架及栽培槽都是以传送带根据不同的生育期而进行株行距调节的。

植物种植过程(图 5-9)为:由精量播种机将种子播入海绵块的豁口中(图 5-9 中的流程 1、流程 2),然后放在人工光照的育苗室中(流程 3),等待出芽和绿化,当幼苗长至第一对真叶展开时,利用移苗机械将每一小块海绵块连同幼苗一并移入定植杯中,然后再定植到栽培床上(流程 4、流程 5、流程 6)。每一栽培床可定植 860 株。以上的流程 1~6 是在育苗室中进行的,待栽培床完成移栽定植的作业后,就在

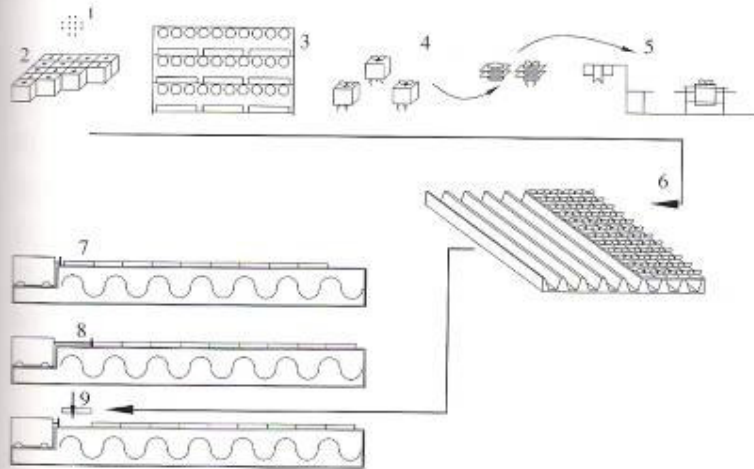


图 5-9 栽培流程图 (刘士哲)

传送带将栽培床移入栽培室中,并由栽培室中的机械把已移植的栽培床往前推送,以便腾出空位让新移植的栽培床放入(流程7、流程8、流程9)。

由于刚移植的栽培床中的株距较密,当植株长至一定阶段的时候就需用机械加大作物株行距的作业(图5-10)。首先利用吊车把欲加宽的栽培床吊起(流程图1、流程2、流程3),放回床头(流程4、流程5),再利用机械作业把栽培床向前推进,空出一个栽培床的位置(流程5、流程6),再放入一个空的栽培床(流程7、流程8),然后把栽培床推向前方(流程9)。

收获时的操作也是由机械来完成的(图5-11),利用可在栽培床上移动的吊车把要收获的栽培床吊起(流程1、流程2、流程3),并移至栽培架的前方完成收获作业。

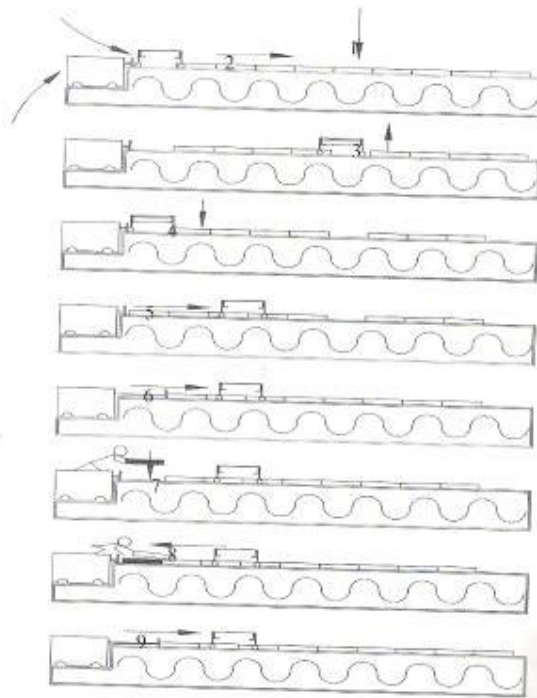


图 5-10 栽培过程中加大株行距的操作过程(刘士哲)

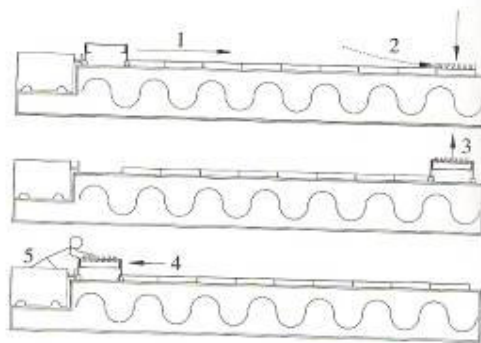


图 5-11 收获过程示意图(刘士哲)



## 二、双层式

### 1. 设施概要

电中研双层式植物工厂,属于太阳光人工光并用型,复式立体结构。该系统建筑面积 405m<sup>2</sup>,其中栽培室 360m<sup>2</sup>,管理室 45m<sup>2</sup>,实际栽培有效利用面积 473m<sup>2</sup>(栽培床规格为 3.1m×38.4m,上下两层,共 2 台)。建设投资 6 000 万日元,设计使用年限 10 年。栽培作物主要为菠菜,一茬生长期为 35 日,栽培床上的种植槽每穴产 1kg,年生产量 19 200kg(平均日产 64kg×300 日)。年销售额 1 344 万日元(按 700 日元/kg 计算),年生产费用 887.8 万日元,年收益为 456.2 万日元。

图 5-12 所示为植物工厂内设施的配置,温室分为管理室和栽培

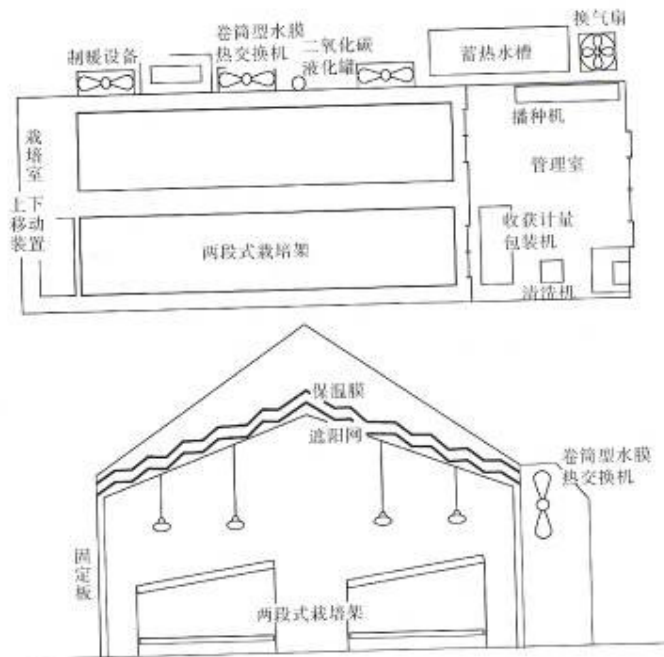


图 5-12 电中研式植物工厂(双层式)结构示意图  
(佐藤容, 1997)



室。管理室内配有播种机、收获计量包装机、清洗机等。栽培室内有2台栽培架,配有上下移动装置。环境控制装置有制暖、制冷、保温幕、遮阳网、补光装置、CO<sub>2</sub>施肥装置等,环境控制是在控制室通过计算机来自动进行的,室外配有冷却塔和冷冻机。

## 2. 栽培系统

该系统采用 NFT 方式栽培,这种方式有利于维持营养液中的肥料浓度,适宜栽培对营养液反应敏感的作物,如莴苣、油菜、芝麻菜、四季豆,特别适宜于菠菜。作物从播种到收获一直生长在同一栽培架上不需要经过移植,从而避免了作物根部的损伤。播种时为了防止种子滑落,栽培床上铺有无纺布,营养液通过无纺布流到植物根部,无纺布下边铺有塑料膜。传统的栽培装置都是朝一个方向移动的,也就是将播种室与收获室分别置于温室的两端。这样一来收获结束后,还要把收获的产品,栽培用的材料等再搬出管理室,效率不高。电中研双层式栽培系统是上下两层,栽培位置和收获位置合二为一,即在同一地点,既可播种又可收获,不仅作业效率大大提高,而且设施利用率也达到最大化。

图 5-13 为该栽培装置与双层式栽培架构造示意图。栽培装置规格为长 3.1m (其中有效栽培长度 2.9m), 一组栽培床体有两台栽培架,上下两层。下层光线弱,用来催芽育苗。上层用来栽培,栽培架上装有营养液循环系统、补光灯、牵引轨道。图 5-14 所示为营养液供给与栽培装置牵引的构成图。组装栽培设备时,将垂悬器挂于两端,营养液采用多孔管供给,栽培床下层是水平式,上层是倾斜式。营养液沿着供液管道如同淋浴一样洒向栽培床,再从栽培床流到水槽,运到贮液罐内。根据需要调整增温或冷却。下层接受上层透过来的光和荧光灯的补光,上层除了接受太阳光外,还要在日照量不足时用高压钠灯补光。上层的补光灯为 400W 反射型高压钠灯,下层为 100W 白色荧光灯。栽培床从栽培架的下层的一端送入再从另一端转到上层,收获时栽培床移到上层。

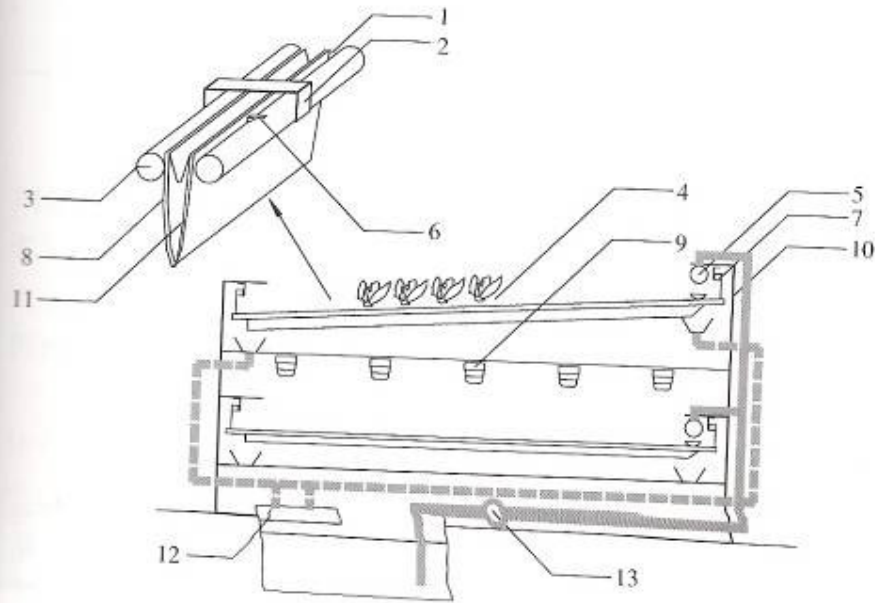


图 5-13 电中研植物工厂(双层式)栽培装置图(佐藤宏)

- |               |               |            |
|---------------|---------------|------------|
| 1. 塑料泡沫板      | 6. 卡轮(帮助支柱转动) | 11. 无纺布    |
| 2. 固定夹        | 7. 轨道         | 12. 过滤网    |
| 3. 支柱         | 8. 塑料膜        | 13. 营养液循环泵 |
| 4. 植株         | 9. 白色荧光灯      |            |
| 5. 营养液供给管(多孔) | 10. 栽培支架      |            |

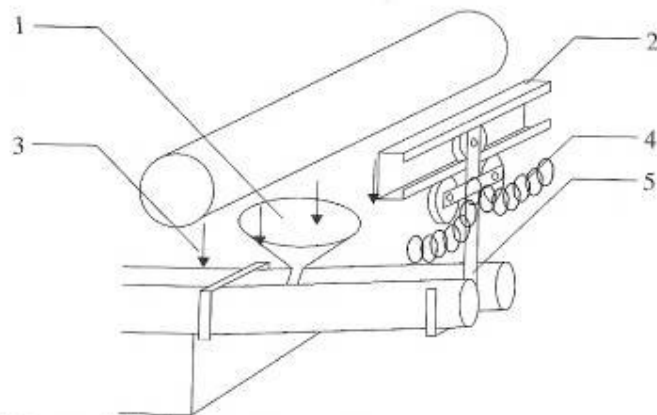


图 5-14 营养液(多孔管)供给与栽培装置牵引构成图(佐藤宏)

- |       |       |           |       |        |
|-------|-------|-----------|-------|--------|
| 1. 漏斗 | 2. 轨道 | 3. 营养液流出口 | 4. 链条 | 5. 悬垂器 |
|-------|-------|-----------|-------|--------|