

# 光伏发电技术在温室中的应用形式研究

孟祥真, 石惠娴\*, 徐得天 (同济大学新农村发展研究院, 同济大学国家设施农业工程技术研究中心, 上海 200092)

**摘要** 因土地资源限制、常规化石能源污染环境 and 设施农业迅速发展等原因, 太阳能光伏发电技术与温室的结合得到广泛应用。为了探究太阳能光伏组件的铺设对温室内部环境的影响, 总结归纳了国内外学者对不同种类的光伏温室在光伏覆盖面积和排布形式方面的研究成果, 得到晶体硅光伏温室覆盖率 20% 和非晶硅光伏温室覆盖率 30% 左右时对温室内作物生长影响较小, 适当的光伏覆盖面积还可以提升作物的品质, 并且在炎热的夏季能够起到很好的遮阳效果。在文献研究基础上, 创新地将薄膜光伏电池用于温室外遮阳系统, 并且通过可旋转的光伏遮阳板, 根据温室对光的实时需求自由调节遮光率。

**关键词** 光伏发电; 温室; 覆盖面积; 排布方式; 遮阳作用

**中图分类号** S214.3 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)27-0219-04

## Research on the Application Forms of Photovoltaic Technology in Greenhouse

MENG Xiang-zhen, SHI Hui-xian\*, XU De-tian (New Rural Development Institute of Tongji University, National Engineering Research Center of Protected Agriculture, Shanghai 200092)

**Abstract** Due to land resources constraints, pollution of conventional fossil energy and the rapid development of agricultural facilities and other factors, the combination of photovoltaic generation technology and greenhouse has been used widely. In order to explore the influence of photovoltaic modules on the internal environment of greenhouse, coverage area and configuration mode of different kinds of photovoltaic greenhouse investigated by researchers at home and abroad was summed up. The result showed that crystal silicon photovoltaic greenhouse coverage of about 20% and amorphous silicon photovoltaic greenhouse coverage of about 30% have little effect on the growth of crops in the greenhouse, and appropriate photovoltaic coverage can enhance the quality of crops and play a good shade effect in the hot summer. Based on these, the innovative use of thin-film photovoltaic modules for the external shading system of greenhouse, can adjust the shading rate according to the greenhouse real-time demand for light by the rotating photovoltaic sunvisor.

**Key words** Photovoltaic generation technology; Greenhouse; Coverage area; Configuration mode; Sunshade

太阳能光伏发电技术与温室的结合, 即将光伏发电技术应用在温室上, 在进行农业生产的过程中获得额外的电能, 可缓解能源压力和增加土地利用效率<sup>[1]</sup>。随着设施农业面积的增加和国家对光伏温室的政策支持, 光伏温室先后在国内的山东寿光、河北承德、江苏常州、江西上饶、四川攀枝花、山西长治等地应用, 发展前景广阔。对于设施农业发达的西班牙、意大利、日本等国家, 光伏温室也都有广泛应用<sup>[2-3]</sup>。

目前太阳能发电技术已经成熟, 并且出现了光伏发电技术与建筑、温室等结合的多种形式, 但太阳能光伏发电技术在温室中的应用大多是企业推动, 缺少政府引领、行业自律和技术规范, 光伏温室的运行效果缺少对比和总结, 使得在实际应用过程中会产生一些问题, 甚至有公司为了拿到光伏项目补贴而简单地将光伏发电设备放置在日光温室的周围, 从而导致土地资源的浪费<sup>[3]</sup>。因此, 通过将光伏温室按照光伏组件的特点进行分类, 针对不同种类的光伏温室, 探究太阳能光伏组件的覆盖面积和排布形式对温室内部环境的影响。分析得到夏季光伏组件对温室具有很好的遮阳作用, 所以将可旋转的薄膜光伏遮阳板电池与温室的外遮阳系统相结合, 为以后光伏发电技术在温室的实际应用提供参考。

### 1 光伏温室的种类及特点

刘立功等<sup>[4]</sup>将光伏温室按照结构和遮光程度 2 个标准进行了分类, 按照结构将光伏温室分为光伏太阳能日光温室

和光伏太阳能连栋温室 2 种类型, 按照遮光程度分为全遮光型和部分遮光型温室 2 种类型。徐永<sup>[2]</sup>根据光伏组件的透光性, 将光伏温室分为密排型、间歇型或棋盘型和部分透光型光伏温室 3 种主要类型。一般情况下, 应用在温室上的光伏电池分为传统不透光的晶体硅太阳能电池和新型透光的非晶硅薄膜太阳能电池, 2 类不同光伏板在温室上的铺设均会对温室内部环境造成影响。该研究主要探究在相同温室结构下光伏组件铺设形式对温室内部作物生长的影响。因此结合 2 种分类方式和光伏组件的透光性, 将按照晶体硅光伏温室和非晶硅薄膜光伏温室两大类进行探究。

**1.1 晶体硅光伏温室** 晶体硅光伏温室是指结合了单晶硅或者多晶硅太阳能光伏板的温室。晶体硅太阳能电池特点是光转化率高, 但其不透光性限制了与温室结合的类型和温室内作物种类的选择。全遮光的晶体硅光伏温室在温室顶部向阳面全部铺设晶体硅光伏板, 温室内几乎没有直射光, 适合食用菌类的种植; 部分遮光的光伏温室是通过改变光伏板的覆盖面积和排布方式调整温室的遮光率, 其光伏太阳能电池板的排列差异较大。遮光面积在 20% ~ 80%。在单栋的光伏太阳能日光温室上, 电池板在采光面后部排列较多, 而前部相对较少或没有, 遮光带更多地分布在后墙上, 这样更有利于植物生长<sup>[4-6]</sup>。

**1.2 非晶硅光伏温室** 非晶硅光伏温室采用透光的非晶硅薄膜光伏板, 虽然发电效率低于传统的单晶硅电池, 但其具有一定的透光性和较高的折射率, 能够使温室内的光照更加均匀, 避免阳光的直接照射, 降低温室内部植物被灼伤的机会, 有利于作物的生长<sup>[7-8]</sup>。在整个太阳光谱波段中, 对光合作用贡献最大的波段为波长 400 ~ 700 nm 波段,

**基金项目** 国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2013AA103006-02)。

**作者简介** 孟祥真(1992—), 女, 山东惠民人, 硕士研究生, 研究方向: 可再生能源应用于设施农业。\* 通讯作者, 副教授, 博士, 从事可再生能源应用于农业设施领域理论和实践研究。

**收稿日期** 2017-06-26

魏晓明<sup>[9]</sup>得到太阳能薄膜电池的透光率,发现薄膜电池对波长 500 nm 以下的透光率基本为 0,波长 500 nm 以上太阳光透光率随波长的增加逐渐提高,红光区域透光率最大时达到 20% 左右,说明薄膜光伏温室内部缺少蓝紫光,会降低农作物产量和品质。结果说明,非晶硅薄膜光伏板透光特性只能够满足叶菜类作物生长所需<sup>[2,9-10]</sup>。

因此,无论是不透光的晶体硅光伏温室还是可透光的光伏薄膜温室,光伏组件的种类和覆盖面积对温室内部环境的影响都很大。在光伏组件种类和覆盖面积相同的情况下,不同形式的光伏组件排布也会产生不同的作用<sup>[11-13]</sup>。通过对国内外相关文献研究,总结分析出光伏覆盖面积和排布形式对作物种植的影响。

## 2 光伏温室的研究现状

### 2.1 光伏组件覆盖面积的研究

**2.1.1 晶体硅光伏电池覆盖面积的研究。**晶体硅光伏温室在欧洲比较普遍,意大利 Cossu 等<sup>[11]</sup>在某面积为 960 m<sup>2</sup> 的温室(8°59' E,39°19' N)的南屋面全部铺设多晶硅光伏板,得到光伏组件的阻碍作用导致温室内部太阳辐射降低 64%。意大利 Marucci 等<sup>[14]</sup>在温室(3.79 m×2.41 m,12° E,42° N)南坡面覆盖晶硅光伏板,如图 1 所示,并且光伏板可以沿纵向轴线旋转从而在地面形成不同的遮光面积,通过监测,夏季正午 12:00 的太阳辐射得到覆盖率小于 20% 时为 20 MJ/m<sup>2</sup> 左右,这个值远远超过了作物对光的需求,覆盖率为 30% 和 50% 时温室内光合有效辐射分别为 18.8、15.0 MJ/m<sup>2</sup>,在超过 70% 时太阳辐射小于 10.0 MJ/m<sup>2</sup>,在覆盖率 30% 时相对于没有铺设光伏组件的温室,其光合有效辐射(太阳辐射中能够使绿色植物进行光合作用的那部分光谱能量,波长为 400~700 nm)降低了 31%。Trypanagnostopoulos 等<sup>[15]</sup>在希腊的西南部设计了 2 座 2.00 m×2.13 m 的玻璃温室,其中一座温室南坡面安装覆盖率 20% 的多晶硅光伏板;另一座普通温室作为对照,2—4 月进行了为期 85 d 的环境检测,得出光伏温室的光合有效辐射比对照温室低 15%~20%。温室内部种植了莴苣,结果发现光伏温室中的莴苣比对照普通温室的高且叶子大,鲜重也更大,说明适当降低光照强度对植物的品质有促进作用。



图 1 温室南坡面覆盖可沿纵向轴线旋转的晶体硅光伏板  
Fig. 1 Covering crystal silicon photovoltaic panels which can rotate along the longitudinal axis on greenhouse south slope

等<sup>[16]</sup>在广东一座 420 m<sup>2</sup> 温室的南屋面安装面积为 210 m<sup>2</sup> 的晶体硅光伏电池组件,得到夏季室外光照度为 75 000 lux 时温室内部为 4 000 lux 左右,能够满足部分叶菜类和果菜类的需求<sup>[17]</sup>。咎锦羽等<sup>[18-19]</sup>使用 ECOTECT 软件建立了屋顶覆盖率分别为 7.61%、15.22%、22.83%、30.44% 的单晶硅光伏温室的模型,相对无光伏组件覆盖时的温室,采光系数分别降低约 16%、38%、49%、58%。另外,王京<sup>[20]</sup>在广东地区某连栋温室的南向坡面间隔铺设单晶硅光伏电池,由于太阳高度角的变化,经现场验证温室内部光照均匀,不会出现光伏阵列产生的阴影块。

由上面晶体硅太阳能电池不同覆盖率研究结果可知,在夏季太阳辐射强烈时光伏组件能够起到很好的遮阳作用。当温室屋顶的光伏覆盖率低于 20% 时,虽然温室内光合有效辐射有所降低但未影响植物的生长,反而对植物的品质有促进作用;光伏覆盖率为 30% 时对植物的生长有了明显的抑制作用;光伏覆盖率高于 50% 时,对光的阻碍作用较大,但在夏季遮阳作用也比较明显。大于 70% 以后温室内光照度就不再满足植物的生长需求。因此,为了尽量保证作物生长不受影响,意大利政府就规定光伏组件在温室屋面的安装比例不得超过 50%<sup>[3,11]</sup>。

**2.1.2 非晶硅光伏组件覆盖面积的研究。**赵雪<sup>[21]</sup>对结构完全相同的光伏薄膜温室和塑料薄膜温室光环境与番茄生长情况进行监测,温室位于延安市李家湾农业生态示范园中(108° E,36° N)。研究发现,在光伏薄膜和 PC 板面积 1:1 的比例布局下,夏季晴天正午前后 2 h 内的总辐射透过率为 38.7%,光合有效量子流密度透过率为 38.9%,分别比塑料薄膜日光温室低 30.3% 和 17.6%,并且此时间段内,晴天光伏日光温室可比塑料薄膜日光温室多阻挡 3 949.8 kJ/m<sup>2</sup> 热量进入室内。赵雪<sup>[21]</sup>在杨凌大寨乡现代农业创新园内一座温室自西向东每三列薄膜光伏组件与 PC 阳光板分别以 1:2、1:3 比例间隔铺设,发现在冬季以 1:3 比例铺设的太阳总辐射要比以 1:2 比例铺设的大 50.3 W/m<sup>2</sup>,太阳总辐射的平均透过率大 9.1%,但 2 种铺设方式下的平均光合有效量子流密度透过率相差不大,并且非晶硅电池组件与 PC 板构成的倾斜平面的平均透光率变化范围为 34.7%~41.7%。束胜等<sup>[22]</sup>对常州市汉能基地一座单栋双屋面塑料温室(28.8 m×8.0 m)分别铺设 33%、50% 屋顶面积的非晶硅光伏组件,在温室内种植小白菜并与未铺设光伏组件的温室做对照,结果表明:50% 光伏板覆盖处理的白菜株高、叶片数和叶面积比对照显著降低了 27.34%、12.50% 和 22.64%,而 33% 光伏板覆盖处理与对照差异不显著。

分析以上研究可以得出,薄膜光伏组件在夏季能够起到明显地阻挡太阳辐射、降低温室内温度的作用,对植物的光合作用影响很小,并且薄膜光伏组件的透光率与 PC 板相差不大,束胜的试验得到 33% 光伏覆盖率的温室可用于小白菜栽培生产,但每种作物对光照的需求是不一样的,因此光伏组件的覆盖率要根据具体的种植对象来确定,且覆盖率不宜高于 50%。

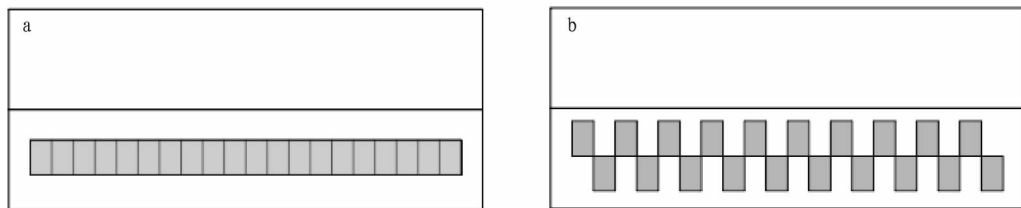
国内也有学者对晶体硅光伏温室进行了研究,余情

相对于晶体硅光伏温室在覆盖率为 30% 时对光合有效辐射就有明显的抑制作用,相同覆盖率的薄膜光伏电池产生的不利影响要小很多。但光伏组件覆盖面积会对发电量造成直接影响,在不以发电作为主要目的的光伏温室可以设计与温室系统相匹配的光伏覆盖面积。比如 Yano 等<sup>[23]</sup>在温室(4.0 m × 8.0 m × 2.4 m)山墙附近安装了占温室面积 0.2% 的非晶硅薄膜电池,由于光伏组件面积小且透光所以对温室内的作物产生的影响可以不计,但其在 2 个月内产生了 3.0 MJ 的电能,驱动温室侧通风系统消耗了 2.5 MJ,足以满足侧通风系统的用电量。Yano 等<sup>[24]</sup>还计算得到 22 536 m<sup>2</sup> 温室全年所有设备的年用电量为 150 MWh,此电量需要覆盖 15% 的非晶硅光伏组件,如果使用效率为 14% 的晶体硅模块,则需要 7% 的面积覆盖。这种所产电量仅供自身系统使用的较低覆盖率的应用形式,不仅可以确保农业生产的品质和产量,还可以节省并网设备的投资以及并网过程中的能量损耗。温室设备用电量的数据可以为不以发电为主要目的的温室设计作参考。

## 2.2 光伏组件排布方式

### 2.2.1 晶体硅光伏温室光伏组件排布方式的研究。

在相同的覆盖面积前提下,国内外学者进行了排布方式对温室内部环境影响的相关研究。咎锦羽<sup>[18]</sup>建立了一排紧密、两排紧密、两排棋盘、四排棋盘排布的单晶硅光伏温室模型,在屋顶电池覆盖率均为 7.61% 的情况下,分别比较一排紧密和两排棋盘式温室。最后得出:冬季白天,一排紧密棚内温度高于两排棋盘的温室,最高温差是 2.5 °C,和屋顶电池覆盖率均为 15.22% 的两排紧密和四排棋盘式光伏温室结果接近,并且两排棋盘和四排棋盘式的棚底采光系数均分别优于一排紧



注:a. 直线式排布;b. 棋盘式排布

Note:a. straight layout;b. chessboard layout

图2 直线式和棋盘式排布示意

Fig. 2 Schematic diagram of straight and chessboard layout

赵雪<sup>[21]</sup>研究发现,大寨乡的薄膜光伏温室在 1 月份平均透光率为 33.0%,比塑料薄膜日光温室低 11.6%。通过对测试期间最低温度天数进行统计,发现 8 °C 以下的温度光伏温室(2 d)明显少于塑料薄膜温室(10 d,占 33%)。董徽等<sup>[29-30]</sup>在北京通州一座连栋温室南侧坡面间隔排列薄膜太阳能光伏板,得到温室的透光率范围为 32.64% ~ 80.96%,平均透光率为 66.27%。

由以上得出,覆盖温室屋顶面积 9.8% 的薄膜光伏组件不会影响番茄的产量和品质,并且和晶体硅光伏温室一样,薄膜电池棋盘式排布方式的透光率明显好于直线排布,可提升作物品质,因此光伏组件棋盘式排布可使温室内部光照更均

匀和两排紧密式。法国的 Fatnassi 等<sup>[25]</sup>通过 CFD 分别对面积为 1 hm<sup>2</sup> 屋顶覆盖直线式和棋盘式光伏组件排布的 Venlo 型温室进行太阳辐射分布的模拟,发现直线式排布温室内部的阴影有明暗带分布,且光透射率为 46%,而棋盘式排布的温室内光线分布均衡,平均光透射率约为 50%。与直线相比,棋盘光伏板排布改善了温室内阳光空间分布的平衡。通过这种光伏面板布置,植物功能和光合作用率将受到光线拦截的影响较小。

因此,在相同覆盖率时,比较紧密式和棋盘式的说明,紧密排列的温室密封保温效果好于棋盘式排布,在冬季能够起到更好的保温作用,但棋盘式排布采光优于紧密式排布,更有利于光照的均匀照射。通过棋盘式的布置,作物的光合作用和品质受到太阳辐射的影响较小。

### 2.2.2 非晶硅光伏温室光伏组件排布方式的研究。

国外许多国家都将非晶硅薄膜光伏组件应用到温室中。日本的 Kadowaki, Yano 等<sup>[26-27]</sup>在温室(133.0°E, 35.5°N)的南坡面分别以直线式和棋盘式 2 种排布方式安装覆盖率为 12.9% 的非晶硅光伏组件,排布方式如图 2 所示。研究表明,2 种排布方式的发电量差异不大,但薄膜电池组件棋盘式布置时,室内光照的均匀情况要明显好于直线布置,通过检测内部生长的大葱发现,采用棋盘式布置温室内的洋葱在产量和品质上均优于直线布置。西班牙的 Ureñasánchez 等<sup>[28]</sup>在面积 1 024 m<sup>2</sup> (2° W, 36° N) 的温室以棋盘式铺设覆盖率为 9.8% 的薄膜太阳能电池板,并与没有安装面板的区域做对比,通过在温室中种植番茄发现没有覆盖光伏板区域的果实成熟时间早于覆盖区域,颜色深于覆盖区域,但各区的总产量并没有差异。

匀、更适合作物生长。另外通过冬季低温天数可以看出,光伏日光温室的冬季温度环境明显好于塑料薄膜日光温室,更有利于冬季果菜的栽培。

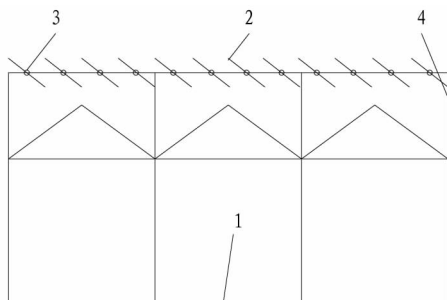
## 3 光伏组件用于温室外遮阳系统

根据气象局资料(1981—2010),我国华东地区夏季气温高且持续时间较长,7 月份和 8 月份的月平均气温均在 25 ~ 30 °C。由于“温室效应”,日光温室内夏季气温高,张良<sup>[31]</sup>测得上海金山某玻璃温室夏季在遮阳网收起的情况下最高温度达到 61.1 °C,高温会影响作物的生长。这也说明夏季降温是我国温室种植亟待解决的关键问题。通过研究国内外文献,可以发现光伏组件在夏季的遮阳效果明显。通过遮阳

可以减少太阳辐射强度,对调节温室小气候有所帮助<sup>[32]</sup>,通过遮阳系统能够降低温室制冷所需能量的 20% 左右<sup>[33]</sup>。另外固定的覆盖面积会对温室内部作物的品种产生限制,实现品种自由选择的前提是光伏覆盖率能够自由调整。

因此,提出将光伏组件与温室遮阳系统结合,在夏季光伏组件能够起到遮阳作用,并且夏季是太阳辐射最强的季节,太阳辐射越强光伏组件所发电量越多。薄膜光伏遮阳系统示意图如图 3 所示,选用可透光且质量轻的薄膜光伏组件,将其附着在轻质耐高温高透光率的塑料板上,板可以绕着中间的转轴旋转,转动轴连接自动控制系统,实现智能控制。将整个光伏遮阳板安装在遮阳网的支架上,支架的强度根据整个系统的实际重量选择,确保系统的安全稳定。

薄膜光伏遮阳系统的优点是光伏遮阳板的遮光率可以根据太阳辐射的强度自由调整,在获得电能的同时达到更好的遮阳和调节温室内部环境的作用,保障顺利度过夏季极端天气,并且在作物不同生长期可以提供适宜的光照强度,也为提高光伏温室种植作物品质和种类多样化提供了可能。



注:1. 温室主体;2. 薄膜光伏组件(附着在轻质透明的塑料板上);  
3. 转轴;4. 金属支架

Note: 1. main body of greenhouse; 2. film photovoltaic component (attached to light transparent plastic board); 3. rotating shaft; 4. metal support

图 3 可旋转式薄膜光伏遮阳系统示意

Fig. 3 Schematic diagram of rotatable thin-film photovoltaic sunvisor system

#### 4 结语和展望

通过查阅国内外文献,对光伏温室进行分类,并对不同种类光伏温室的光伏组件覆盖面积和排布方式进行研究,结果得出,30% 对于晶体硅光伏温室是非常高的覆盖率,将覆盖率控制在 20% 左右对农业生产比较合适;对于非晶体硅光伏温室覆盖率可以控制在 30% 左右,但两者均不宜超过 50%,具体覆盖率还要根据温室生产的主要作物的种类进行选择。对于相同覆盖率时光伏组件排布形式,棋盘式的间歇分散排布有利于温室内光环境的均衡,明显要好于紧密式排布。

温室作为进行农业生产的设施,与光伏发电技术结合的前提应该确保农业生产的正常进行,应当摒弃以发电为目的的光伏温室的做法。伴随我国能源结构的调整,分布式光伏发电越来越广泛,在这一过程中更应该确保光伏发电技术与温室结合的科学性。因此,对光伏覆盖面积和排布形式的研究具有实际意义,一方面可以通过研发透光率更高且透过光谱更加适合作物生长的光伏薄膜;另一方面通过设计更科学

合理的结合形式实现种植与发电均达到最优化。

#### 参考文献

- [1] XUE J L. Photovoltaic agriculture-new opportunity for photovoltaic applications in China [J]. Renewable & sustainable energy reviews, 2017, 73: 1-9.
- [2] 徐永. 光伏温室若干问题的探讨[J]. 农业工程技术, 2015(11): 29-32.
- [3] 魏晓明. 光伏温室技术的发展现状与未来方向[J]. 农业工程技术, 2015(11): 25-28.
- [4] 刘立功, 赵连法, 刘超, 等. 光伏太阳能温室的特点及应用前景[J]. 中国蔬菜, 2013(15): 1-4.
- [5] 张亮. 太阳能电池的研发进展[J]. 科技创业月刊, 2011(6): 157-158.
- [6] 郑丽芳. 光伏太阳能板在温室屋面的使用前景[J]. 农业开发与装备, 2014(7): 52-53.
- [7] BAMBARA J, ATHENITIS A. Experimental evaluation and energy modeling of a greenhouse concept with semi-transparent photovoltaics [J]. Energy procedia, 2015, 78: 435-440.
- [8] 董微, 周增产, 卜云龙, 等. 太阳能光伏发电技术在温室中的应用[J]. 农业工程, 2014, 4(5): 47-49, 52.
- [9] 魏晓明. 光伏发电温室的现状及技术前景研究 [C] // 中国农业工程学会 (CSAE). 中国农业工程学会 2011 年学术年会论文集. 北京: 中国农业工程学会, 2011.
- [10] 刘辉, 沈国正, 傅巧娟, 等. 杭州市薄膜光伏太阳能大棚应用现状及发展对策[J]. 浙江农业科学, 2012(6): 782-787.
- [11] COSSU M, MURGIA L, LEDDA L, et al. Solar radiation distribution inside a greenhouse with south-oriented photovoltaic roofs and effects on crop productivity [J]. Applied energy, 2014, 133(6): 89-100.
- [12] HASSANIEN R H E, LI M, LIN W D. Advanced applications of solar energy in agricultural greenhouses [J]. Renewable & sustainable energy reviews, 2016, 54: 989-1001.
- [13] MARROU H, GUILIONI L, DUFOUR L, et al. Microclimate under agrivoltaic systems: Is crop growth rate affected in the partial shade of solar panels? [J]. Agricultural & forest meteorology, 2013, 177(6): 117-132.
- [14] MARUCCI A, CAPPUCINI A. Dynamic photovoltaic greenhouse: Energy balance in completely clear sky condition during the hot period [J]. Energy, 2016, 102: 302-312.
- [15] TRYPANAGNOSTOPOULOS G, KAVGA A, SOULIOTIS M, et al. Greenhouse performance results for roof installed photovoltaics [J]. Renewable energy, 2017, 111: 724-731.
- [16] 余倩, 杨金明. 光伏发电技术在温室中的应用 [J]. 新能源进展, 2015, 3(4): 251-255.
- [17] 王丽娟, 汪树升. 宁夏地区光伏发电温室的设计与建造 [J]. 太阳能, 2013(1): 56-59.
- [18] 咎锦羽. 光伏温室大棚若干问题的研究 [D]. 昆明: 云南师范大学, 2013.
- [19] 咎锦羽, 刘祖明, 廖华, 等. 光伏温室大棚温度的模拟研究 [J]. 云南师范大学学报(自然科学版), 2014, 34(2): 42-47.
- [20] 王京. 温室光伏供电系统 [D]. 广州: 华南理工大学, 2015.
- [21] 赵雪. 光伏日光温室的性能分析与应用研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013.
- [22] 束胜, 余灵彬, 陶美奇, 等. 光伏温室对普通白菜生长、光合作用及品质的影响 [J]. 中国蔬菜, 2017(4): 44-47.
- [23] YANO A, TSUCHIYA K, NISHI K, et al. Development of a greenhouse side-ventilation controller driven by photovoltaic energy [J]. Biosystems engineering, 2007, 96(4): 633-641.
- [24] YANO A, FURUE A, KADOWAKI M, et al. Electrical energy generated by photovoltaic modules mounted inside the roof of a north-south oriented greenhouse [J]. Biosystems engineering, 2009, 103(2): 228-238.
- [25] FATNASSI H, PONCET C, BAZZANO M M, et al. A numerical simulation of the photovoltaic greenhouse microclimate [J]. Solar energy, 2015, 120(4): 575-584.
- [26] KADOWAKI M, YANO A, ISHIZU F, et al. Effects of greenhouse photovoltaic array shading on Welsh onion growth [J]. Biosystems engineering, 2012, 111(3): 290-297.
- [27] YANO A, KADOWAKI M, FURUE A, et al. Shading and electrical features of a photovoltaic array mounted inside the roof of an east-west oriented greenhouse [J]. Biosystems engineering, 2010, 106(4): 367-377.
- [28] UREÑASÁNCHEZ R, CALLEJÓN FERRE Á J, PÉREZ ALONSO J, et al. Greenhouse tomato production with electricity generation by roof-mounted flexible solar panels [J]. Scientia agricola, 2012, 69(4): 233-239.

度与科研人员的知识储备密切相关。研究者首先被图像吸引,再被文字丰富,用文字来理解图像,用图像来印证文字,在图像与文字的积极互动中,研究者不知不觉加深了对烟草种质资源的认知程度。

**5.1 图像数据库的标准化建设** 标准化是建设高质量数据库的重要支撑和坚强保障,对于保持数据库的系统性和兼容性,实现网络化和资源共享均具有极其重要的意义。因此,建设图像数据库时要严格遵循标准化原则,在图像数据采集、加工、存储及检索的过程中,一定要采用通用的标准。该标准是在国家烟草专卖局“中国烟草种质资源平台建设专项”的实施过程中逐渐形成的,并经过了实践的检验。在烟草种质资源图像数据库的维护更新中,应严格遵循上述标准。

**5.2 图像数据库的共建共享** 图像数据库建设是一项基础性工作,更是一项长期的系统工程,需要投入大量的人力、物力和财力,需要国家烟草专卖局给予稳定的财政支持,需要“中国烟草种质资源平台建设”的平台单位合力共建。目前,保存的5607份烟草种质资源中仍有一些种质缺乏照片,有不少种质照片不全,不少种质图片质量还有待提高。烟草种质资源的典型图片拍摄时间很短,错过之后就只能等待下一个生长周期。任何一家单位独立完成全部烟草种质资源图片的拍摄基本是不可能的。综上所述,这些客观因素要求高层要给予稳定的财政支持,一定要多家平台单位通力合作,并且要长期坚持。每个平台单位获得的资源照片要及时传到图像数据总库中,只有在此基础上才能真正实现共享。

**5.3 图像数据库的维护更新** 为避免浪费,在确定入库图像时,应特别注意该图像是否有可靠的来源,避免不符合标准甚至错误的图像入库。图像数据录入的完成并不意味着数据库建设的完成,还要经常进行维护和更新。资源网应安排专门人员收集图像数据库使用过程中的反馈信息,定期对图像数据进行清理、修正和补充更新。

**5.4 烟草突变体图像的整合共享** 由中国农业科学院烟草研究所牵头主持的“烟草突变体创制、筛选与鉴定”项目,历时5年,经过多家合作单位共同努力,采用EMS诱变和T-DNA激活标签插入等方法,创制了27万余份烟草突变体材料,经鉴定获得了700余份性状稳定遗传的烟草突变体<sup>[19]</sup>。

烟草突变体是一类特殊的烟草种质资源,在进行基因功能研究和品种定向改良方面具有独特的利用价值。为进一步加强这些突变体资源的利用,有必要将突变体相关信息整合到烟草种质资源数据库([www.ycsjk.com.cn](http://www.ycsjk.com.cn))中,以利用其成熟的分发利用体系,不断提高资源利用率。烟草种质资源研究团队与烟草突变体研究团队应加强合作。烟草突变体应主动采用烟草种质资源图像数据库的建设标准,以便于整合共享;烟草种质资源应主动吸纳稳定的具有特殊利用价值的突变体材料到烟草种质资源数据库中,以便更好地服务于生产实践和广大科研工作者。

## 参考文献

- [1] 张帆,方如明,蔡健荣.标准烟叶数据库的图像检索[J].农业机械学报,2001,32(1):66-68,71.
- [2] 吴健,俞天秀,张若识.敦煌艺术图像数据库的建设[J].敦煌研究,2008(6):68-71,116.
- [3] 王星,陈楠,李坤成,等.基于SQL server 2000数据库管理系统的正常人脑MRI图像数据库[J].中国医疗设备,2008,23(10):25-27.
- [4] 向红,刘嘉敏,谢海军,等.中国人人耳图像数据库的设计与建立[J].计算机工程,2009,35(18):275-277.
- [5] 李宁,程霞,杨伟,等.黄斑疾病OCT图像数据库的设立与建立[J].医疗卫生装备,2013,34(9):39-40,48.
- [6] 宁静,杜中赫,刘雅慧,等.植物种子信息图像数据库的建立[J].种子,2016,35(4):126-129.
- [7] 沈霞,王昌利,胡本祥,等.构建秦岭中草药标本馆图像数据库的探索[J].陕西中医学院学报,2015,38(3):98-100.
- [8] 许磊,黎智辉,王俊娟,等.高精度三维人脸图像数据库[J].刑事技术,2015,40(2):94-97.
- [9] 董玉琛.我国作物种质资源研究的现状与展望[J].中国农业科技导报,1999(2):36-40.
- [10] 于梅芳.我国烟草品种资源的研究[J].中国种业,1986(1):11-14.
- [11] 蒋子恩.我国烟草资源概况[J].中国烟草科学,1988(1):42-46.
- [12] 李毅军,牛佩兰,蒋子恩,等.我国烟草品种资源概况及研究战略[J].中国烟草,1995(1):11-14.
- [13] 张兴伟,王志德,牟建民,等.我国烟草种质资源现状与展望[J].中国烟草科学,2009,30(6):78-83.
- [14] 张兴伟,冯全福,杨爱国,等.中国烟草种质资源分发利用情况分析[J].植物遗传资源学报,2016,17(3):507-516.
- [15] 张兴伟,王志德,张久权,等.中国烟草种质资源信息网的开发与应用[J].中国烟草科学,2009,30(S1):32-36.
- [16] 任民,张兴伟,张久权,等.中国烟草种质资源网络信息系统的开发[J].农业工程学报,2010,26(3):209-215.
- [17] 任民,张兴伟,张久权,等.烟草种质资源在线共享系统的开发应用[J].中国烟草科学,2011,32(4):51-55.
- [18] 任民,张兴伟,王志德,等.基于Google Maps API的烟草种质资源WebGIS开发研究[J].植物遗传资源学报,2010,11(5):522-526.
- [19] 刘贯山,孙玉合.烟草突变体[M].上海:上海科学技术出版社,2016.
- [20] 董微,周增产,刘文玺,等.光伏温室室内外环境条件对比[J].农业工程,2015,5(5):44-48.
- [21] 董微,周增产,卓杰强,等.光伏低碳温室设计与应用[J].农业工程,2013,3(4):54-57,51.
- [22] 张良.夏季屋顶全开窗型温室的通风率与温度预测研究[D].镇江:江苏大学,2016.
- [23] AHEMD H A, AL-FARAJ A A, ABDEL-GHANY A M. Shading greenhouses to improve the microclimate, energy and water saving in hot regions: A review[J]. Scientia horticulturae, 2016, 201: 36-45.
- [24] SONI P, SALOKHE V M, TANTAU H J. Effect of screen mesh size on vertical temperature distribution in naturally ventilated tropical greenhouses[J]. Biosystems engineering, 2005, 92(4): 469-482.

(上接第222页)