



中国科学技术大学

University of Science and Technology of China



雄安创新研究院

Xiongan Innovation Institute

# 光电农业助力碳中和碳达峰和乡村振兴

刘文

中国科学技术大学光学与光学工程系

中国科学院雄安创新研究院

## UNIVERSITY REPUTATION

EARN THE WORLD REPUTATION BY QUALITY EDUCATION AND OUTSTANDING RESEARCH IN AS SHORT AS 60 YEARS



**80**  
**TOP 3**  
in China's Mainland

**THE WORLD UNIVERSITY RANKINGS**  
THE University Rankings 2020

**128**  
**TOP 3**  
in China's Mainland

**U.S. News**  
U.S. News Rankings 2020

**89**  
**TOP 6**  
in China's Mainland

**QS WORLD UNIVERSITY RANKINGS**  
QS World University Rankings 2020

**4**  
**TOP 1**  
in China's Mainland

**nature INDEX**  
Nature Index 2020

**4**

Disciplines in ESI's world top 0.1% (March, 2018)  
Physics, Material Science, Chemistry, Engineering

**12**

Disciplines in the world's Top 50 ARWU Subject Rankings 2019  
Nano Sci & Tech, Energy Sci & Tech, Chemistry, Materials Sci & Engineering, Chemical Engineering, Mechanical Engineering, Telecommunication Engineering, Instruments Sci & Tech, Computer Science, Physics, Biomedical Engineering, Automation & Control



# 光电子农业实验室技术带头人



负责人：  
**刘文** 教授

- 教育部长江学者特聘教授；
- 国内外知名的光电子专家，中国科学技术大学学士、博士；
- 加拿大McMaster大学博士后；
- 中科院雄安创新研究院光电子农业实验室主任；
- 中国科学技术大学光电子科学与技术省重点实验室主任；
- 2005年获国务院华人华侨专业人士“杰出贡献奖”



中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China



雄安创新研究院  
Xiongan Innovation Institute



副主任：  
**朱新广** 研究员

- 美国伊利诺伊大学植物系 博士/博士后
- 中国科学院分子植物科学卓越创新中心 研究员
- 中科院光合开放实验室主任
- 全球植物光合作用研究领域知名专家



中国科学院分子植物科学卓越创新中心/植物生理生态研究所  
CAS Center for Excellence in Molecular Plant Sciences / Institute of Plant Physiology and Ecology



雄安创新研究院  
Xiongan Innovation Institute



国际合作主管：  
**Jan  
Ingenhoff** 博士

- 德国图宾根大学博士
- 曾任世界500强研发部负责人
- 国际上知名的光电子器件专家
- 安徽省外专百人、合肥友谊奖获得者
- **Athermal AWG**技术持有人



雄安创新研究院  
Xiongan Innovation Institute

## 张放心

- 中国科大博士
- 2009年安徽省第三批“115”产业创新团队、2017年安徽省高层次人才团队核心成员；2018年度“金山英才”
- 原02专项芯硕半导体光刻机项目主要负责人之一；曾任芯硕半导体公司技术总监

## 李明

- 中国科大博士后研究员
- 中科大先进技术研究院首批“青年才俊”科研人员；
- 曾担任扬州中科半导体有限公司芯片技术部副部长
- 2017年安徽省高层次人才团队核心成员

## 郑世军

- 青岛大学九三届电气技术本科
- 上海交大安泰经管学院EMBA
- 上海凯泉泵业集团公司销售总监

## 张昕昱

- 雄安创新研究院助理研究员
- 中国科大工学博士
- 辽宁省/安徽省优秀毕业生
- 博士国家奖学金获得者

## 汤道林

- 安徽农业大学九六届植物种植专业本科
- 高级农艺师
- 安徽新农创技术公司技术经理
- 有机鲜食（上海）有限公司技术总监

## 黄爱东

- 安徽大学九二届企业管理本科
- 科大创新股份有限公司人力资源部经理
- 国药控股（安徽）有限公司董事会秘书、人事部长

## 王坤

- 国防科大电子信息工程专业本科
- 国家一级注册建造师
- 长期从事家电、LED照明、医疗设备等嵌入式和电源类产品技术开发工作
- 曾任皖投新辉光电科技公司、等公司技术总工





# 光电农业（光学农业）是一个正在迅速发展的交叉学科



## 第四届全国光学农业学术研讨会

2021年6月26日-28日 山东·泰安



过去农业高科技重点是育种、水肥土气和温度调控，将先进的光学与光电子技术用于农作物光照调控（包括光强、光谱、光频），给农业高科技带来了新的维度。具体内容包阳光光强与光谱按需分配，同时满足农作物光合作用和光伏发电，大棚转光膜，还有采用LED等高效人工光源实现室内植物工厂及大棚补光等。



- 一、光电农业助力雄安新区绿色低碳发展**
- 二、光伏农业与中国光伏扶贫**
- 三、团队光伏农业技术创新**
- 四、光伏农业&LED植物工厂：光电农业模式**



# 我国缺乏现代农业代表性技术



## 世界领先的6 大农业模式

美国：大农场模式

日本：精细农业模式

德国：数字农业模式

荷兰：温室农业模式

以色列：精准农业模式

法国：合作社服务模式

我国尚缺乏具有代表性的可大规模推广的**高科技及高产值农业技术**，上述模式不能简单套用。



荷兰温室农业

Greenhouse

agriculture in Holland



以色列滴灌农业

Drip irrigation

agriculture in Israel





# 滴灌—以色列实现高效农业标志性技术



- 以色列自然资源贫瘠，2万平方公里国土面积，干旱半干旱地区面积约占75%以上，且沙化严重；
- 可耕地面积一共只有45万公顷；人均水资源仅为260立方米，大约相当于中国的1/10；
- 农业生产效率极高，柑橘每公顷产量高达800吨，番茄每公顷产量高达500吨；
- 一个农民产出可以养活300人；
- 以滴灌为标志的高效农业不仅保证全国农产品供应，而且还大量销往欧洲，蔬菜出口量占全欧洲进口市场40%；



荷兰国土面积狭小，低洼潮湿、光照不足。但却依靠着科技与创新，成为了仅次于美国的世界第二大农业产品出口国。其世界领先的Venlo（文洛）型温室技术是荷兰农业优质高产的重要原因之一。其特点如下：



荷兰属于温带海洋性气候，全年温和潮湿。夏季温度适中，冬季较寒冷，全年降水分配均匀，阳光不充足。

气候  
条件

温室  
光照

文洛型温室透光率高，建造时采用了高透光率玻璃和最佳屋面角，同时会定期清洗。另外，预计超过30%的温室安装了补光灯。



文洛型温室密闭性好，内部遮阳网具有遮荫、保温、保湿作用。冬季额外加温主要采用天然气锅炉加热水的方式，且具有独特的天窗设计在夏季来降温。

温度  
湿度

功能  
特点

荷兰温室面积普遍较大，脊高较高，空间大，便于管理，具有很高的屋面排水效率，并且均配备热电联产模式下的CO<sub>2</sub>补充装置。



荷兰文洛型温室自动化程度较高，大多采用自动化控制系统，将多种系统设备等集成，方便统一管理。

硬件  
配套  
体系

农业  
形式  
与  
产业链

合作社是荷兰农业的重要参与部分，合作社可提供信贷资金与销售渠道等服务。此外，荷兰的农业拥有以荷兰瓦赫宁根大学（WUR）为代表的优秀的产学研模式。





# 中东部农业大省面对农业劳动力老龄化、农业后继无人难题



改革开放初期，全国外出务工农民数量还不到200万。然而到九十年代后，外出务工的农民数量已经增加到6000多万，足足翻了三十倍。自从进入二十一世纪以来，计量外出务工农民数量的单位就从万变成了亿。



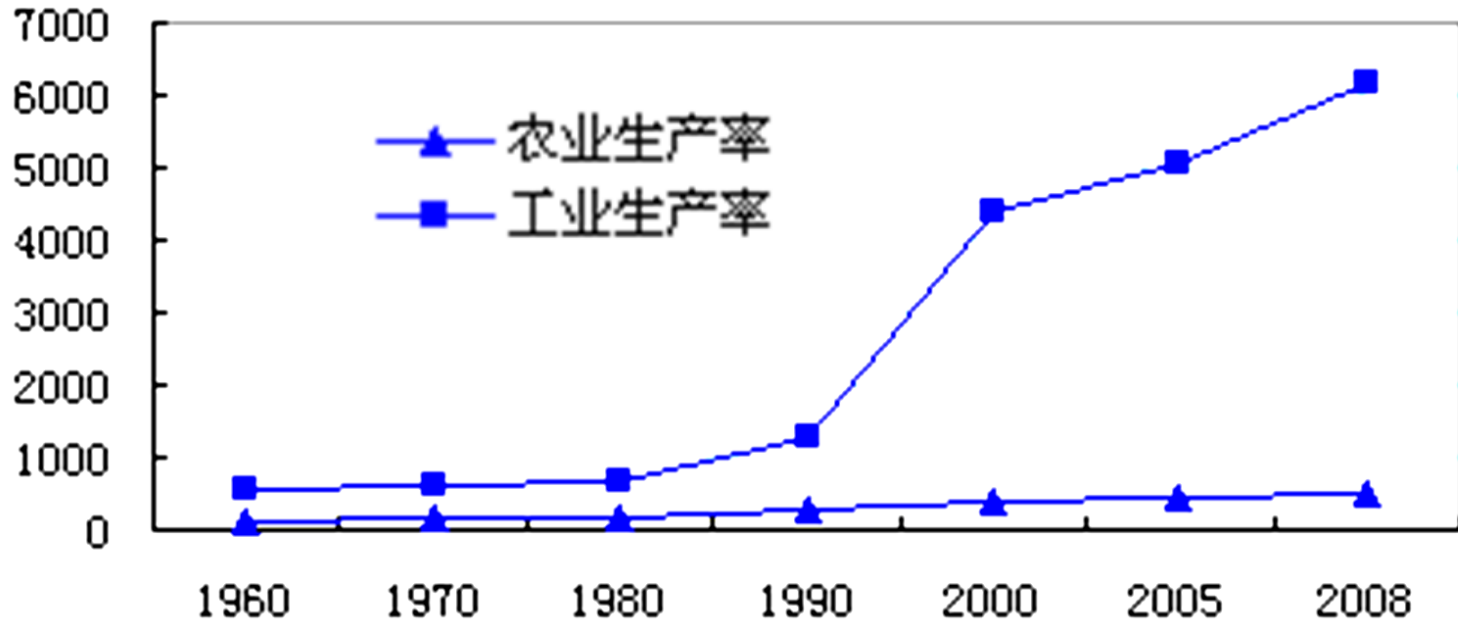
农村剩下的劳动力主要是50~70年代的老人，这导致农村农业发展所需要的劳动力的数量和质量远远不够，许多的土地都已荒芜，能够维持当前的农村农业状况已然不易，农村农业的发展面临着后继无人的危机。



农村农业与工业的劳动生产率相比差距太大，工业的财富创造能力遥遥领先于农业，相比之下农村农民的人均收入太低，对年轻人不具备吸引力。乡村振兴的关键还是要大幅提升农村农民劳动生产率，农民能够致富，农村才有希望。



# 中东部土地资源匮乏，发展光电农业是碳中和重要途径



2019年中国人均GDP首次超过1万美元，已经达到中等发达国家水平，但是其中中国农业对人均GDP的贡献仅仅达到710美元左右。相比之下农业发达的美国和荷兰均是在1978年人均GDP超过1万美元。特别是自然条件并不好、资源匮乏的荷兰依赖其先进的文洛玻璃温室系统成为世界第二大农产品出口国。中国农业劳动生产率只有高收入国家平均值的2%，比世界平均值还低一半，中国农业现代化水平远低于中国工业现代化水平。

如果按农业劳动生产率、农业增加值比例和农业劳动力比例的年代差的平均值计算，2008年中国农业水平比英国、美国和荷兰大约落后100多年，中国农业劳动生产率大幅提升是下一步中国发展的一个重点。



# 雄安新区土地和水资源匮乏，发展光电农业是碳中和重要途径



**1/7** 河北省人均水资源量仅有全国人均1/7

**70%** 农业用水占总用水量70%

**6.97** 万平方公里地下水超采区

唯有发展节水农业，将雄安新区单位农业耗水量降低1/2以上，达到以色列农业类似水平，才能实现当地农业可持续发展；

**≤1万** 安新县农村居民人均可支配收入

**60万** 雄安新区三县农村人口

乡村振兴是雄安新区发展主要课题之一。发展高标准农田，将单位土地农作物产值、农民人均可支配收入成倍提升，才能实现绿色生态和长期可持续发展；

数据来源：政府工作报告、河北省水利厅等

# 光电农业模式具有政策和产业基础



## 政策基础：

### 3060碳中和

雄安计划建成世界首批实现零碳的新区

### 乡村振兴战略

美丽乡村规划建设用地规模约50平方公里——《雄安新区规划纲要》

### 绿色生态农业

建设国家农业科技创新中心，建设现代农业设施园区——《雄安新区规划纲要》

## 产业基础：我国已经成为全球光伏及LED行业的“世界工厂”。

	光伏产业	LED产业
行业发展	《2020全球光伏企业20强排行榜》中国企业 <b>占15家</b> ，前五强均为中国企业。占全球产能的 <b>90%</b> 以上，年产值超5000亿（2019）	国内LED芯片企业占全球LED芯片总营收 <b>超64%</b> 。国产LED芯片已占领国内市场 <b>超81%</b> （2018）年产值超过7500亿（2019）
效率大幅提升	2007年至2020年上半年，光伏板 <b>量产效率已经超过23%</b> ，正在向24%进发。	2013年至2020年，白光LED典型光效 <b>提升约40%</b> ，目前植物灯具最高电光转化效率 <b>接近80%</b> 。
价格降幅	2010~2020年，全球太阳能容量从40GW增加到580GW，组件 <b>价格下降了90%</b> 。2021年，光伏将全面实现平价上网。	2010年至2020年，LED芯片2寸晶圆片价格已由1000元/片下降至50-80元/片， <b>降幅超90%</b> 。



# 雄安创新研究院与安新县达成战略合作协议



- **安新县**是雄安新区现代农业核心承载区
- **安新县现代农业产业园规划土地面积：22463亩**



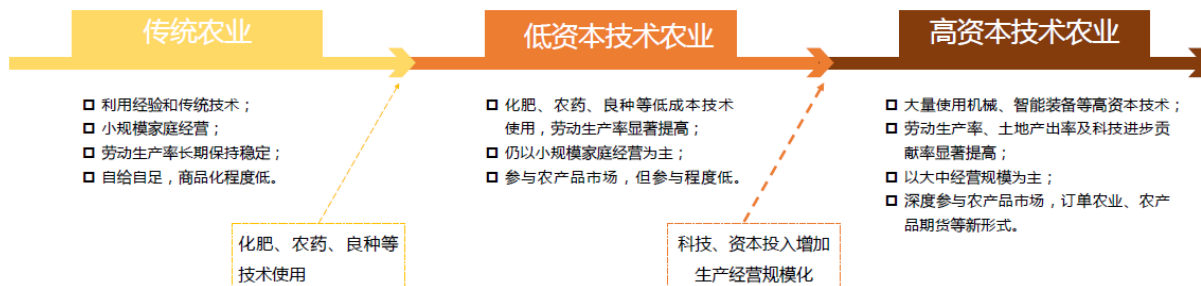
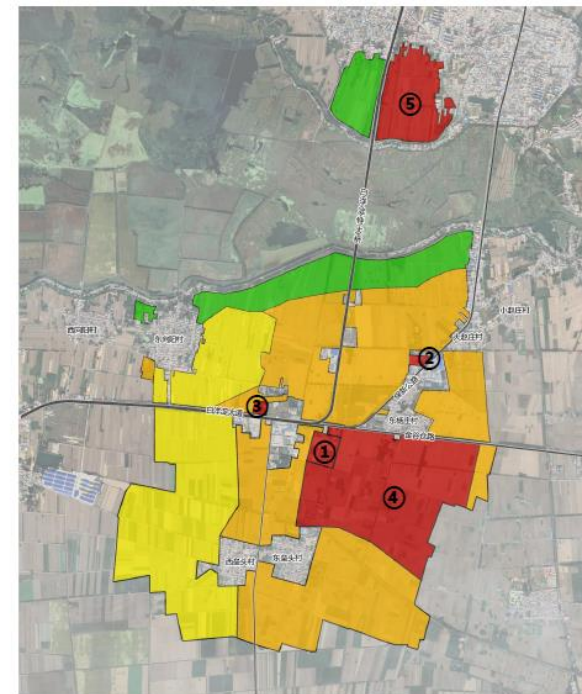
- 区域位于白洋淀西侧
- 土地产出低，区域内人均耕地1.23亩；
- 该区域迫切需要平台型科技力量支撑其农业高质量发展。

现状用地性质统计表：

图例	用地性质	面积	单位
<span style="color: red;">■</span>	建设用地	4690	亩
<span style="color: yellow;">■</span>	基本农田	5495	亩
<span style="color: orange;">■</span>	一般农用地	9911	亩
<span style="color: green;">■</span>	林地	2367	亩
	合计	22463	亩

建设用地情况说明：

- ① 号地块，面积184亩。
- ② 号地块，面积36亩，国有建设用地 近期可利用建设用地
- ③ 号地块，面积38亩，国有建设用地
- ④ 号地块，战略备用地
- ⑤ 号地块，近期以种植为主，远期为建设用地





- 一、光电农业助力雄安新区绿色低碳发展
- 二、**光伏农业与中国光伏扶贫**
- 三、团队光伏农业技术创新
- 四、光伏农业&LED植物工厂：光电农业模式



# 光伏农业—提升农地综合利用效率



根据联合国 (UN) 最近的报告，如果我们不采取行动遏制温室气体排放 (GHGe)，到本世纪末，全球气温将增加 $3.2^{\circ}\text{C}$ 。为了实现碳减排以遏制全球气候变暖，**光伏技术**在许多国家被定位为一种**理想的可再生能源**。



日本光伏农业



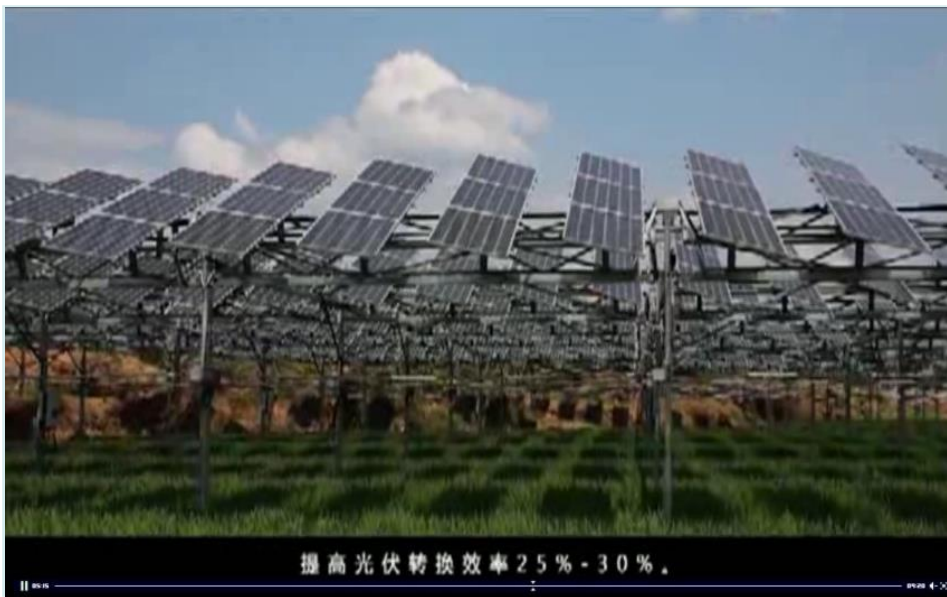
6.7MW北意大利项目

**光伏农业 (APV)** 能够实现土地的**双重利用**，该项技术目前收到了世界范围内的关注。

国外光伏农业已经有过长期发展，一直未真正解决**光伏发电与农作物种植之间的矛盾**。



# 光伏农业是中国扶贫一个重要内容



- 国内**2017年以后**已经开始大规模推广光伏农业，但直到现在**光伏板大范围地将太阳光挡住**。未能真正实现与农业的有机结合。



- 2015年12月24日，同景新能源集团安徽金寨县小南京村农光互补示范电站项目开工。
- 该项目双轴联动光伏跟踪系统，寿命期平均发电量可提高20%~35%，跟踪系统架高3米以上，光伏板下可实现现代化**农耕机械作业**。一个突出的问题是光伏板下部**光照不均匀**，影响农作物生长。



# 中国把光伏农业与扶贫结合起来：光伏扶贫



2018年4月24日国家能源局举办新闻发布会，国家能源局新能源司副司长李创军介绍了新出台的《光伏扶贫电站管理办法》：今后搞的光伏扶贫电站只有一种方式：就是村级电站方式；光伏扶贫电站必须由政府投资，根据各地财政情况，各地安排光伏扶贫电站的建设规模和建设数量。到2020，全国光伏扶贫村级电站已经超过8万个，装机容量26.36GW，超过全国光伏总装机容量1/8。



# 光伏扶贫经验可望在一带一路国家推广



东南亚国家、中美洲国家等对刘文教授介绍(科技部、外交部组织)的中国在光伏扶贫方面的经验和光伏农业创新技术有浓厚的兴趣。



# 光伏农业技术创新成果转化社会与经济效益



- 解决人口稠密、经济发达地区**分布式光伏场地**问题，**2021-2030**，全国已规划光伏装机容量将**超过100GW/年**，光伏农业规模可达**50GW/年**，占1/2以上，可能成为实现**碳达峰、碳中和**目标一个重要支撑技术。
- 光伏农业可有效**改善大田生态环境**，提升单位土地农作物**产量**并**改善品质**；
- 相当于同步完成了**农田水利工程**，大量节约**水资源**和**灌溉成本**；属于**高产值高标准农田**；
- 帮助西北地区**恢复水蒸发与降水量的平衡**，**恢复植被**，发展**畜牧业**；
- 帮助**一带一路国家**实现现代化和现代农业发展，同时带动中国**光伏产品出口**。



光伏牧场（中国）

光伏蓝莓（德国）



Source: Next2Sun GmbH

光伏牧草（德国）



- 一、光电农业助力雄安新区绿色低碳发展
- 二、光伏农业与中国光伏扶贫
- 三、团队光伏农业技术创新
- 四、光伏农业&LED植物工厂：光电农业模式





## 类型I：几何分光

- 农作物上部项采用离散分布式布置的晶硅光伏板。
- 光照不均匀，不利于植物生长。

An APV project with geometric splitting mode





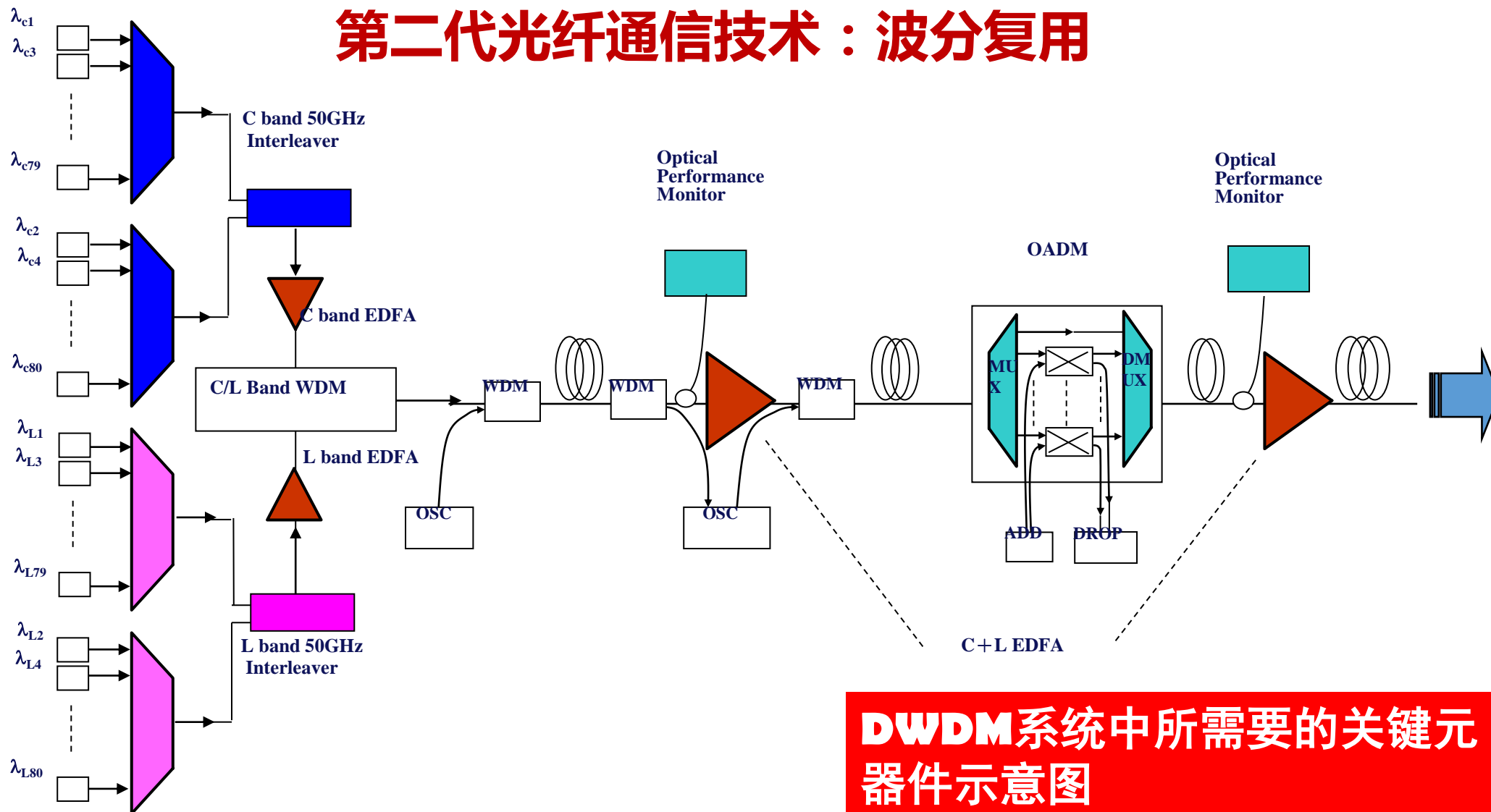
## 类型II：强度分光

- 采用薄膜太阳能电池片，如常见的非晶硅电池片。
- 受能带结构限制，透光与叶绿素吸收光谱不符。

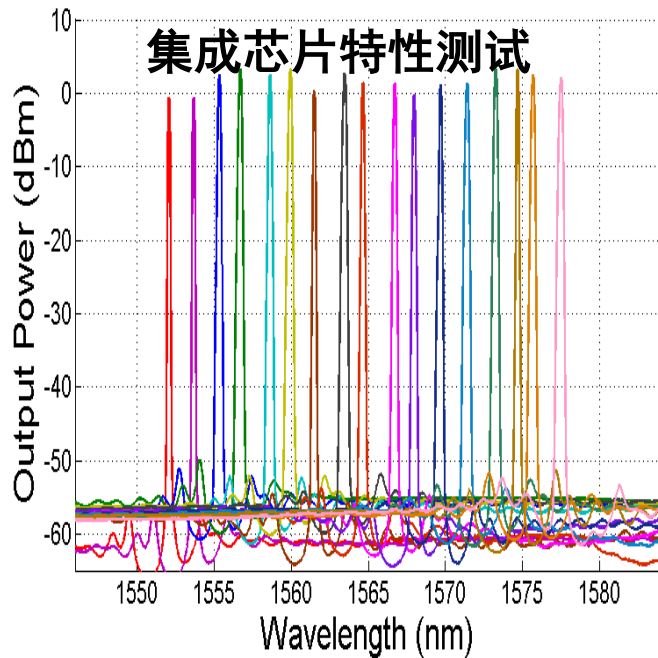
An APV project leveraging thin film solar cells



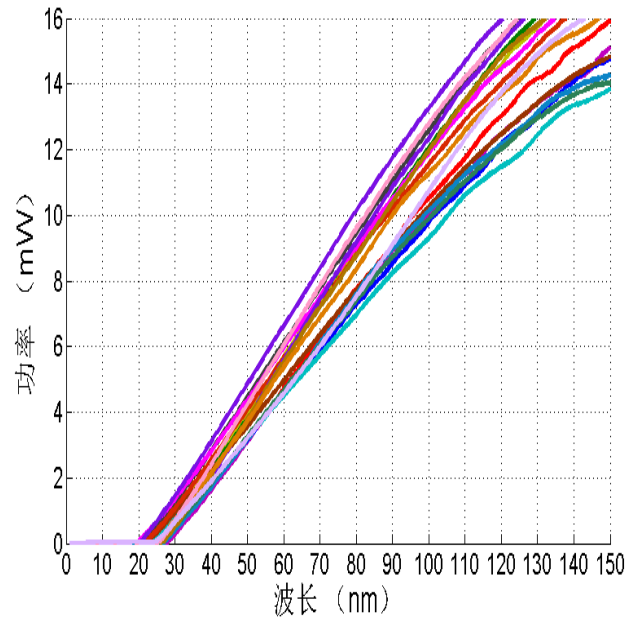
## 第二代光纤通信技术：波分复用



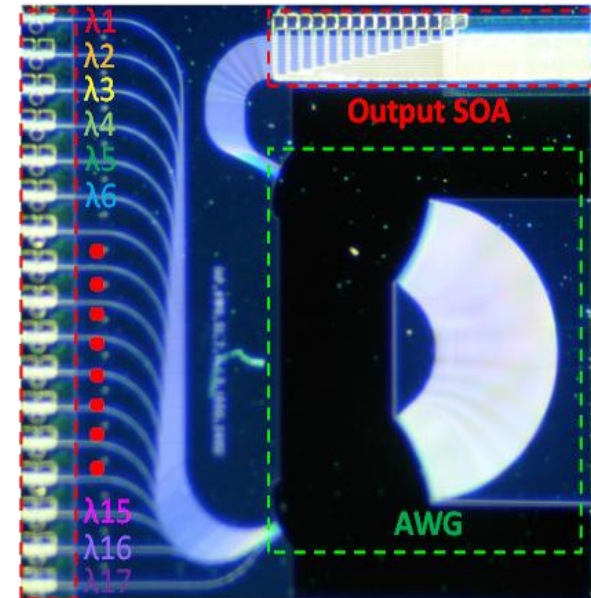
**DWDM系统中所需要的关键元器件示意图**



17通道阵列激光器端口出光光谱叠加图



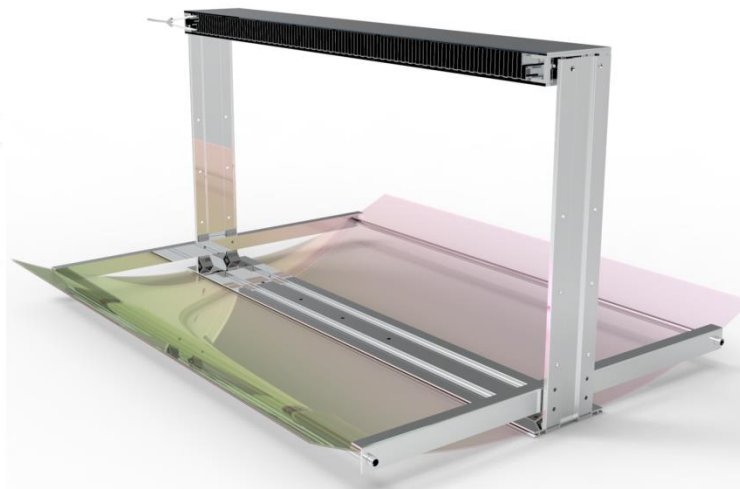
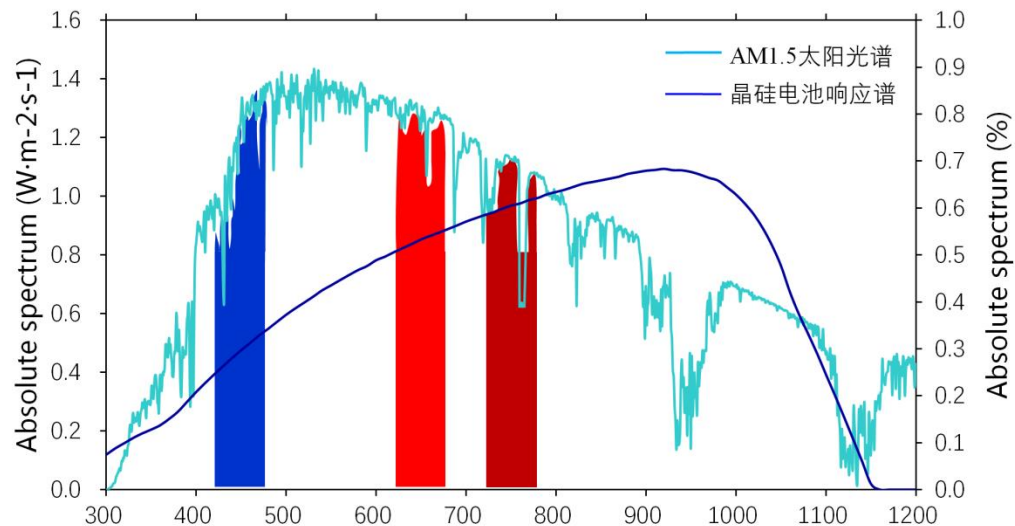
阵列激光器端P-I曲线



芯片显微镜照片

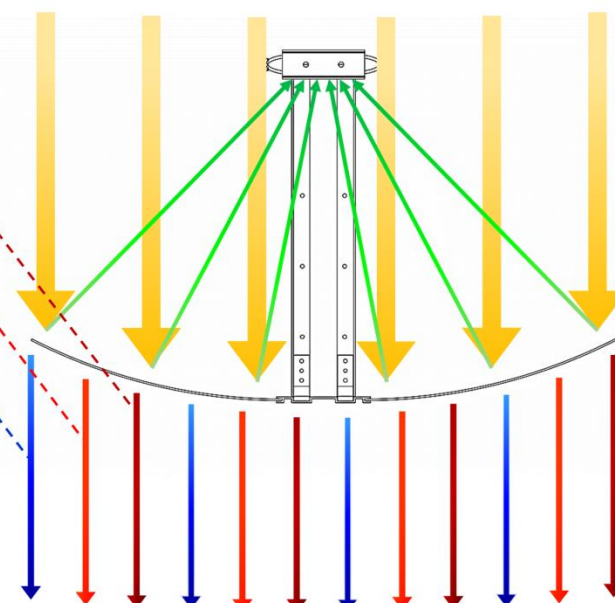
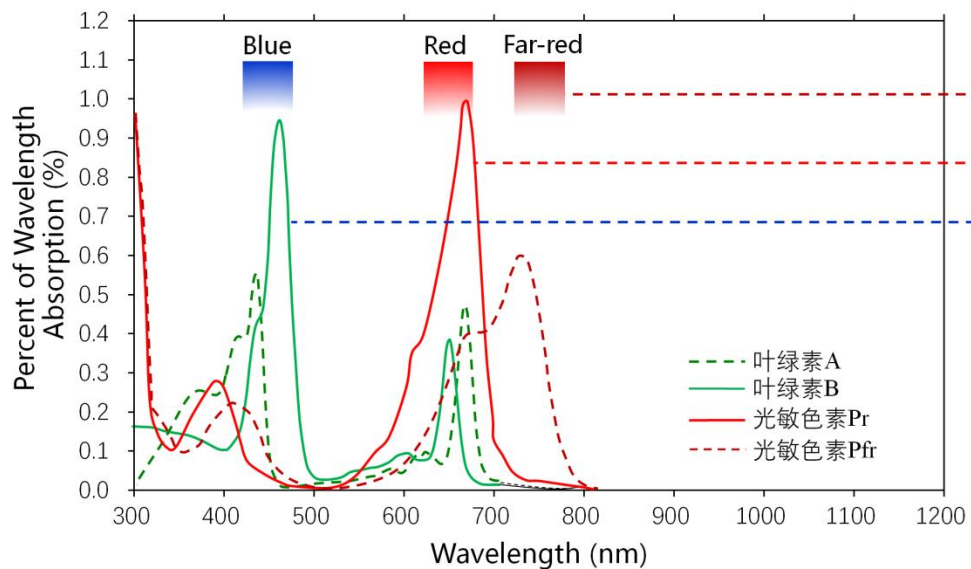
- 17个通道，回归分析以后，通道间隔：**1.592nm**，方差：**0.1603nm**。和设计要求符合地很好，阵列激光器可以较好的工作，阈值约为**20~30mA**，**150mA**下平均输出功率可以达到**16mW**
- 波分复用光纤通信技术可以任意加合、拆分40个波长，每个波长带宽只有**0.8纳米**，间隔也只有**0.8纳米**，每次加合、拆分，损耗只有**2~3%**。





## 中国科大方案

- 聚合物多层滤光膜;
- 透射太阳光谱中光合有效辐射波段;
- 反射剩余波段, 高倍聚光发电。



安徽阜阳实验基地，农作物产量增加20%





# 试验与示范基地照片



每亩地发电量减少，但单位发电量成本可降低30%，同时每亩地农作物产量增加20%以上。



# 农作物种植实验（洋姜）



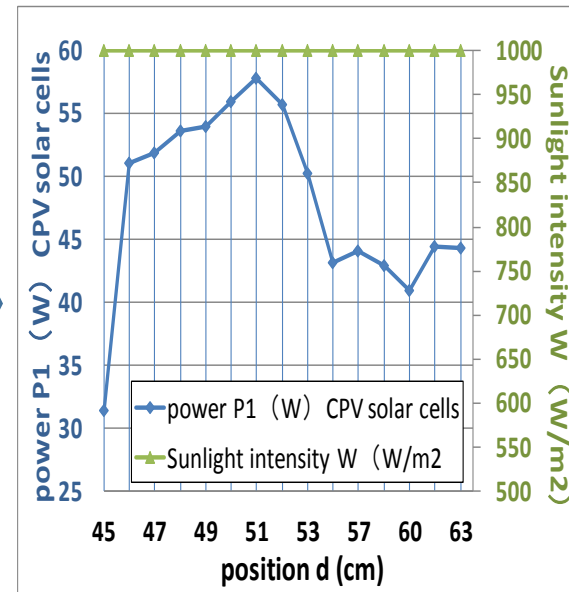
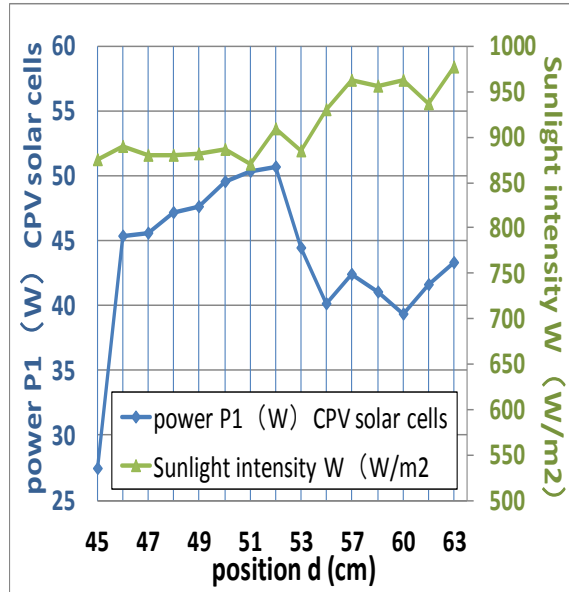
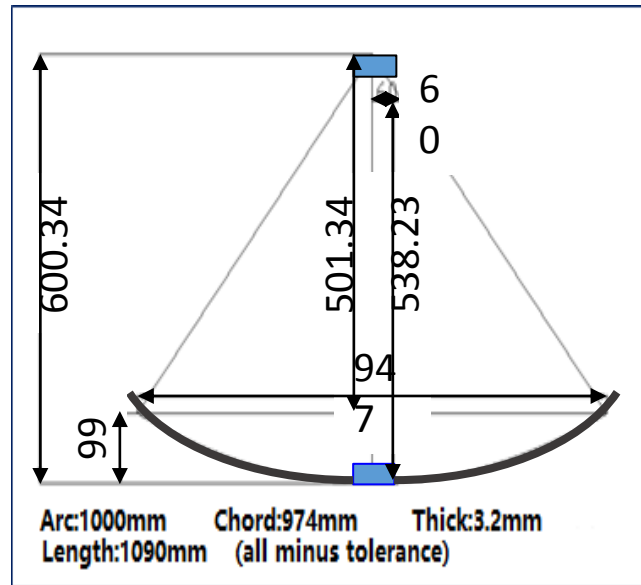
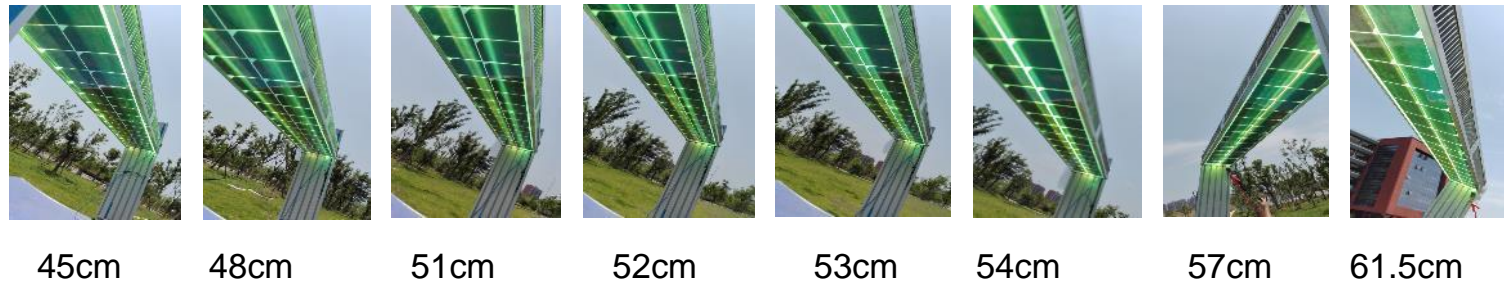
经过过滤的光谱下种植洋姜（安徽·宿州）



对照组



- Measurement of the power of the CPV solar cells at different
- positions from the reflective panel

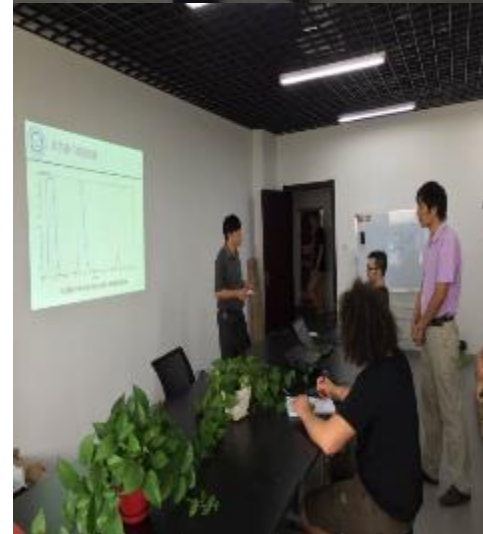




Discovery探索频道

主动联系中国科大先研院的创新团队，拍摄纪录片。

G20期间开始在海外内Discovery探索频道播出《Smart China (智慧中国)》纪录片中，作为中国创新的一个典型案例。高度评价“前所未有地高效利用太阳能”，“可能改变人类生活的一项突破”。





- 破解种植与光伏发电“争光”难题
- 中国科大创新成果入选科技创新“奥斯卡”名单，今为止中国大陆只有4个项目获得过这个荣誉

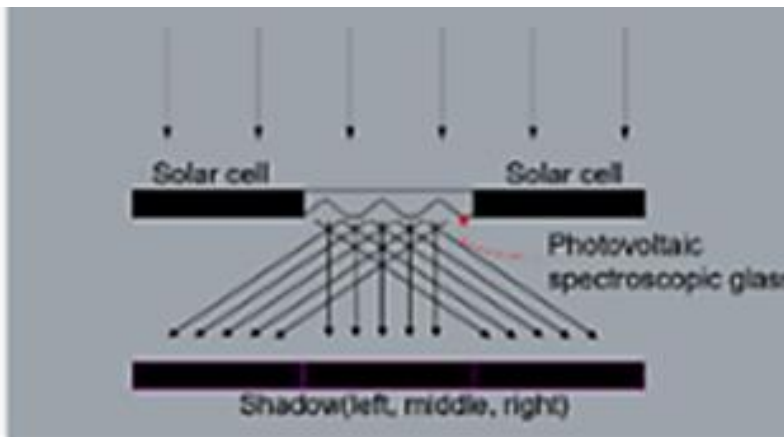
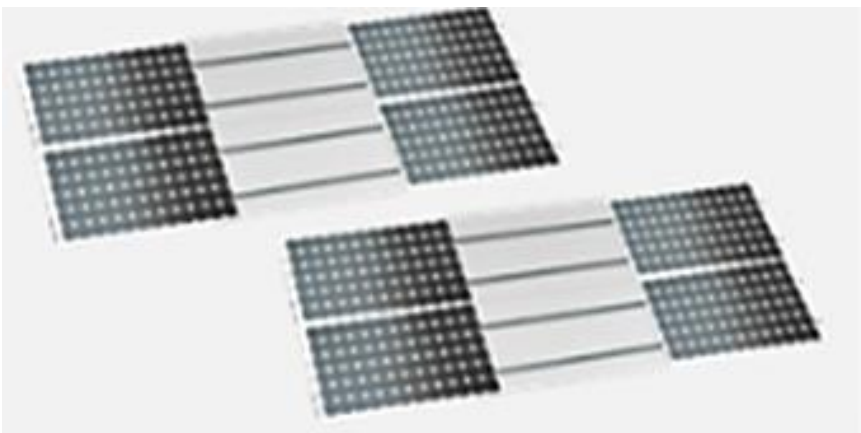


**R&D  
100**  
55 Years of Invention

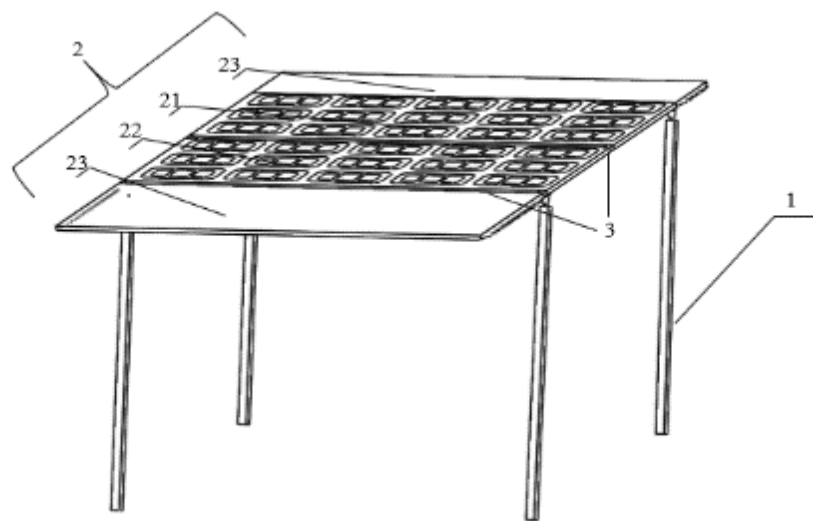
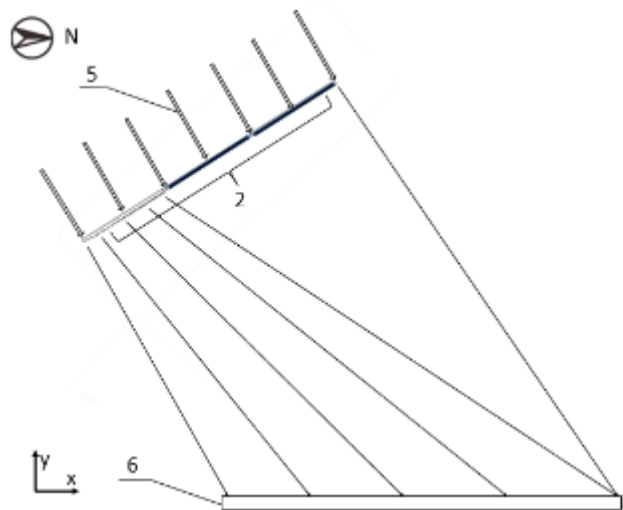
**“Everyone should be extremely proud of these notable R&D achievements and the teams responsible for them.”**

**The R&D 100 Awards have long been considered the most globally prestigious recognition of invention and innovation.**

# 中科大光伏农业方案二——匀光型光伏农业系统



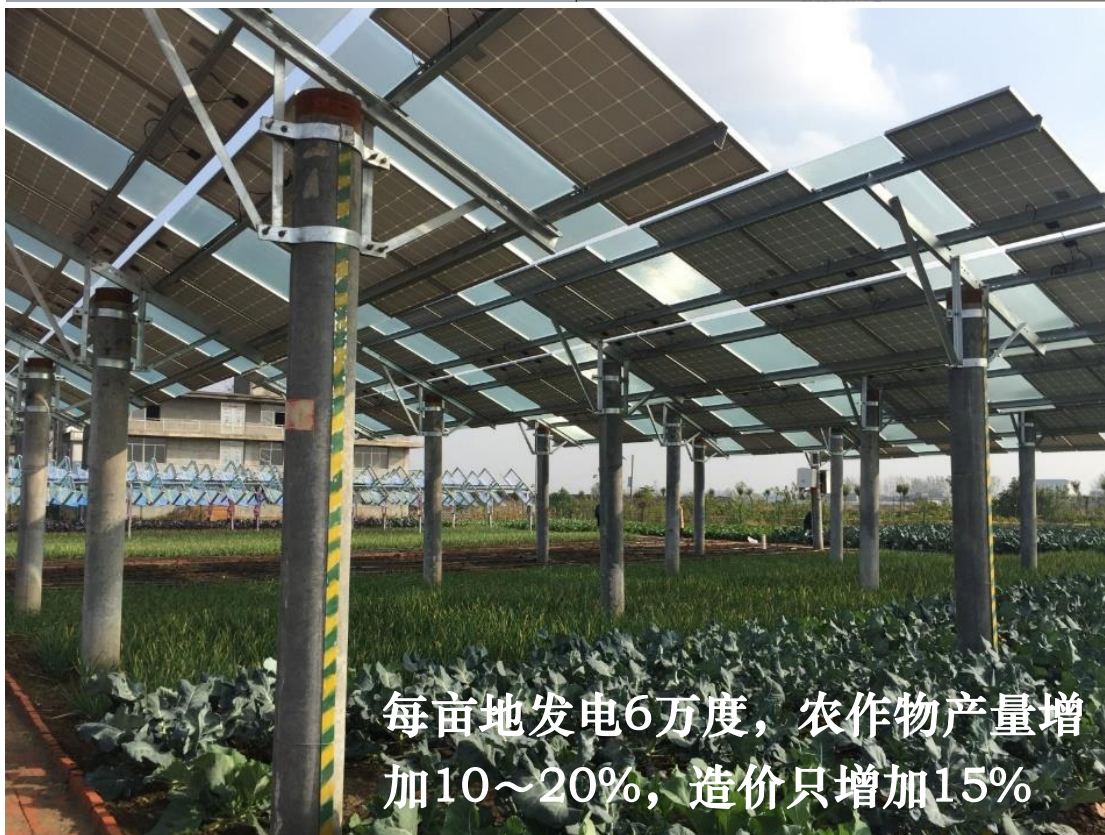
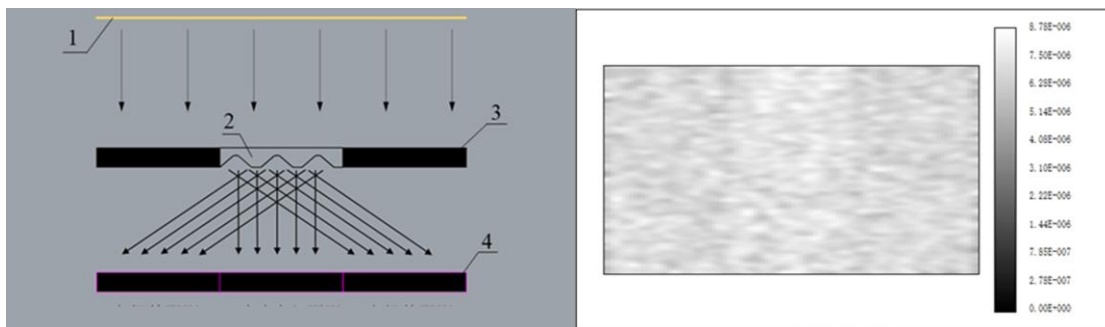
- 匀光型光伏发电第一个专利：采用**菲尼尔透镜**原理，将太阳光**定向均匀分配**。



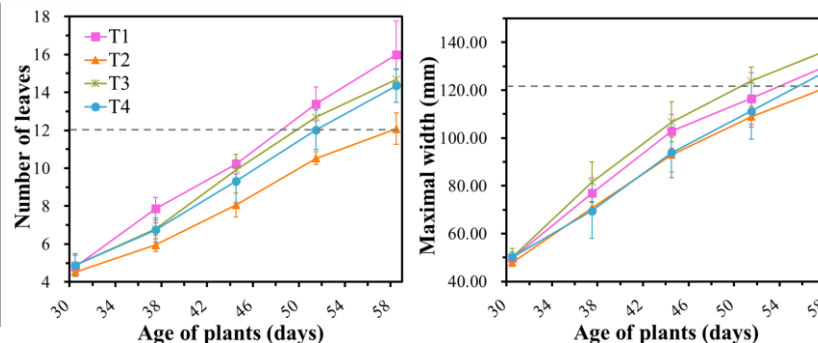
- 匀光型光伏发电第二个专利：可以完全**不影响**单位面积发电量。



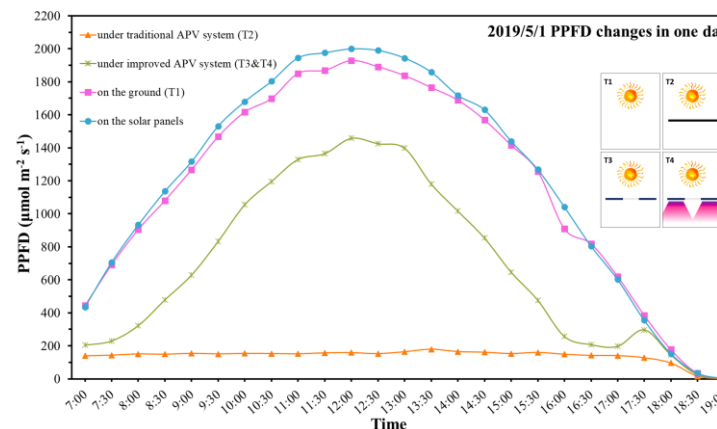
# 匀光型光伏农场：发电+农作物增产+减少水蒸发



每亩地发电6万度，农作物产量增加10~20%，造价只增加15%



生菜成熟期提前1周



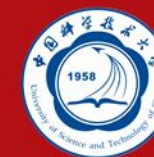
较普通光伏农业系统日累计辐照量提升47.38%

TABLE | The average fresh weight, dry weight, and water content of plants under different light conditions.

Treatment	Average fresh weight (g)	Average dry weight (g)	Average water content (%)
T <sub>1</sub>	17.89 ± 10.01a	1.57 ± 0.78a	90.99 ± 0.008b
T <sub>2</sub>	8.32 ± 4.57b	0.62 ± 0.33b	92.52 ± 0.007a
T <sub>3</sub>	18.44 ± 5.86a	1.38 ± 0.43a	92.44 ± 0.006a
T <sub>4</sub>	18.32 ± 9.47a	1.35 ± 0.63a	92.46 ± 0.009a

菊芋（洋姜）达到2300公斤（价值4600元以上），产量较野外自然环境增加21%。

# 团队解决方案在光伏农业领域受到高度关注



## AgriVoltaics2021 - Notification of Acceptance

Dear Mr. Liu,

On behalf of the AgriVoltaics 2021 Scientific Committee, we are pleased to inform you that your abstract with the ID 6700, titled:

- **Solar-Splitting Concepts and Implementations for Agrivoltaics**

has been accepted as an **oral presentation** for the AgriVoltaics 2021 conference. Congratulations!

## AgriVoltaics2021 - Notification of Acceptance

Dear Dr. Zhang,

On behalf of the AgriVoltaics 2021 Scientific Committee, we are pleased to inform you that your abstract with the ID 6676, titled:

- **AgriVoltaics Help to Realize BLUE Plan**

has been accepted as an **oral presentation** for the AgriVoltaics 2021 conference. Congratulations!

## AgriVoltaics2021 - Notification of Acceptance

Dear Prof. Liu,

On behalf of the AgriVoltaics 2021 Scientific Committee, we are pleased to inform you that your abstract with the ID 7959, titled:

- **The Application of Newly Proposed Even-lighting AgriVoltaics Systems: A Case Study in Anhui, China**

has been accepted as a **poster** for the AgriVoltaics 2021 conference. Congratulations!

## AgriVoltaics2021 - Notification of Acceptance

Dear Mr. Meng,

On behalf of the AgriVoltaics 2021 Scientific Committee, we are pleased to inform you that your abstract with the ID 6682, titled:

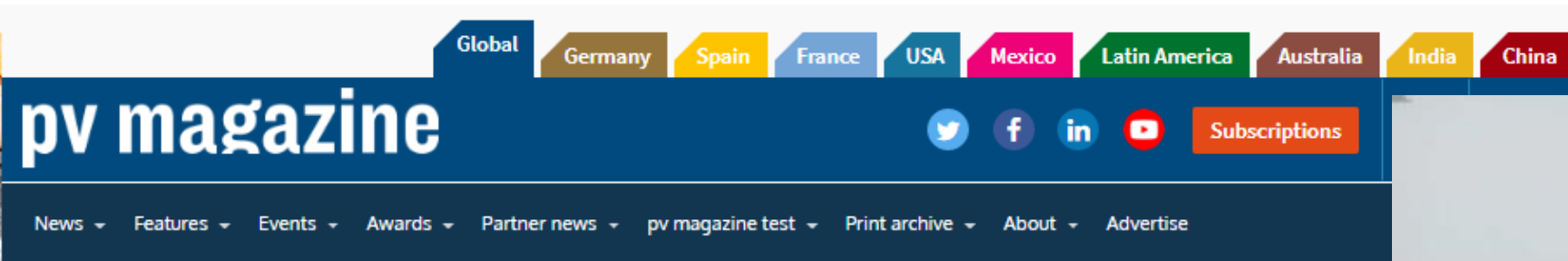
- **Innovative Practices of Photovoltaic Poverty Alleviation and Photovoltaic Agriculture in Anhui Province, China**

has been accepted as a **poster** for the AgriVoltaics 2021 conference. Congratulations!

List	Article title	Form
1	AgriVoltaics Help to Realize BLUE Plan	oral presentation
2	Solar-Splitting Concepts and Implementations for Agrivoltaics	oral presentation
3	The Application of Newly Proposed Even-lighting AgriVoltaics Systems: A Case Study in Anhui, China	poster
4	Innovative Practices of Photovoltaic Poverty Alleviation and Photovoltaic Agriculture in Anhui Province, China	poster

AgriVoltaics2021会议由德国弗劳恩霍夫研究所主办，是全球光伏农业领域的具有全球影响力的重要会议。随着全球碳减排需求和我国“3060”碳中和目标的制定，光伏农业技术进步越来越受到广泛重视。





## Novel plant design for agrivoltaics

Developed by Chinese researchers, the novel design methodology consists of utilizing metal brackets as mounting structures, conventional solar panels, and a grooved glass plate placed between the solar panels. According to its creators, it ensures a farmer's average income increases by 5.14 times, including the solar power generation business. A system built with this approach should cost around €715 per kW installed.

AUGUST 5, 2021 [EMILIANO BELLINI](#)  
[MODULES & UPSTREAM MANUFACTURING](#)  
[TECHNOLOGY AND R&D](#)  
[UTILITY SCALE PV](#)  
[CHINA](#)



With the novel design methodology, the panels are placed at a height of at least 2.5 m from the ground.  
*Image: University of Science and Technology of China*

## 苏丹驻华大使馆大使加法尔·卡拉尔博士一行访问刘文教授实验室和实验农场

2020年12月17~18日，苏丹驻华大使馆大使加法尔·卡拉尔博士专程来安徽访问，大使先生先后参观了刘文教授的光学膜研发实验室、农业光电子研发实验室和阜阳光伏农业示范基地。并受到中科大有关部门和校领导的热情接待。双方就中国苏丹“一带一路”项目合作展开深入讨论，并拟在苏丹筹建第一个“**中国—阿拉伯国家光伏农业实验室**”。





# 国内外合作及知识产权情况



中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China



AgriVolNetEU



4个国家合作伙伴国家二级申请人

团队受邀成为欧盟农业光伏行业联络会唯一的中方代表(AgriVolNetEU)

## 国际合作机构：



ENERGIE&ENVIRONNEMENT

法国能源环境公司



UNIVERSIDAD DE JAÉN

西班牙哈恩大学



Fraunhofer

德国弗劳恩霍夫太阳能研究所



UNIVERSITY OF HOHENHEIM

德国霍恩海姆大学

## 国内企业合作单位：



国家电投  
SPIC

中央研究院  
国核电力院



国家电网公司  
STATE GRID  
CORPORATION OF CHINA

JASOLAR  
晶澳太阳能

保利新能源  
POLY SOLAR

.....

序号	专利名称	专利类型	专利申请号	状态
1	一种分布式聚光分光的太阳能综合利用系统	实用新型	2015206023967	授权
2	一种透光率可调节的光伏温室大棚	实用新型	2015205923075	授权
3	一种高效节能的双轴槽式光伏自动跟踪系统	实用新型	2016212719710	授权
4	一种兼顾农作物光照和光伏发电的光学分光膜及其制作方法	发明 实用新型	2018102948223 201820469219X	申请 授权
5	低倍聚光光伏组件的光学校准装置及方法	发明 实用新型	2018103104265 2018204928094	申请 授权
6	一种全光谱高效利用的低倍聚光双轴光伏发电装置	发明 实用新型	201810310427X 2018204928075	申请 授权
7	一种低倍聚光的光伏组件结构	实用新型	2018204928465	授权
8	一种阵列式农光互补跟踪系统	发明	2018104409078	申请
9	一种实现斜面均匀分光的光伏农业系统	实用新型	2018215997346	授权
10	一种增加匀光功能的太阳能光伏组件	实用新型	2018215997327	授权
11	一种能够双面发电的低倍槽式聚光光伏组件	实用新型	2018219523353	授权
12	一种低倍抛物面聚光光伏电池结构	实用新型	2018220303918	授权
13	一种光伏组件实现Domino式自动化雪的电热转换控制方法	发明	2019104993745	授权
14	一种自适应主动降温的双面发电聚光光伏组件	实用新型	2019224214369	授权
15	一种防止光伏系统过量积雪的智能化雪系统	发明 实用新型	2020109778818 2020220371490	申请 授权
16	一种全方位防紫外膜以及一种太阳能板	发明	2018111598799	授权
17	一种匀光型光伏农业系统	发明	202110167002X	申请



- 一、光电农业助力雄安新区绿色低碳发展
- 二、光伏农业与中国光伏扶贫
- 三、团队光伏农业技术创新
- 四、光伏农业&LED植物工厂：光电农业模式



## 工业化蔬菜生产方式

多层种植，单位土地产量可达农田**100倍**以上。

周年连作，一年最多可生产**12茬**蔬菜。

所生产蔬菜干净卫生，可**免冲洗食用**。

## 植物工厂——设施农业发展的高级阶段



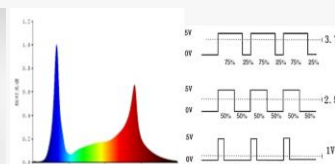
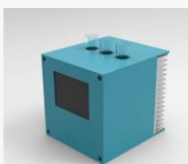
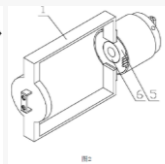
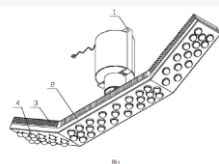
LED光效提高**约10%/年**

可**昼夜颠倒**生长，可以消纳城市**夜间多余电力**

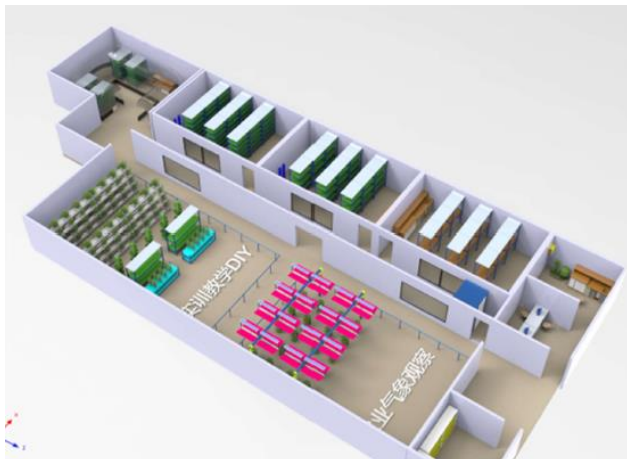
**无土栽培**，耗水量仅为传统农田**1%**。

**脉冲光**技术有望大幅提升植物照明**光效**。

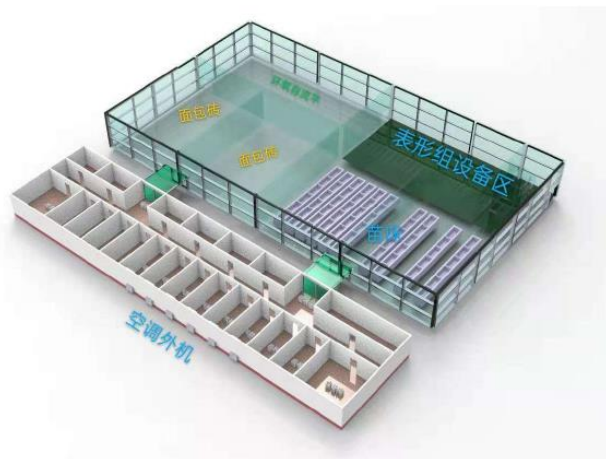
团队在**脉冲光机理及脉冲补光灯具**领域取得系列成果。



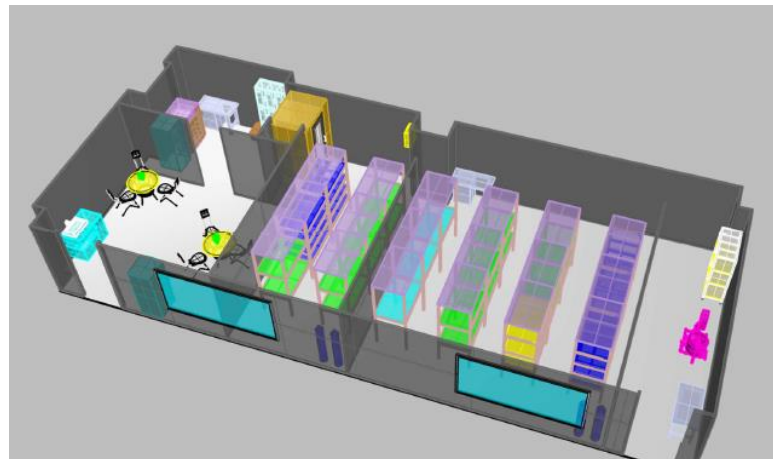
# 团队设计的植物工厂案例



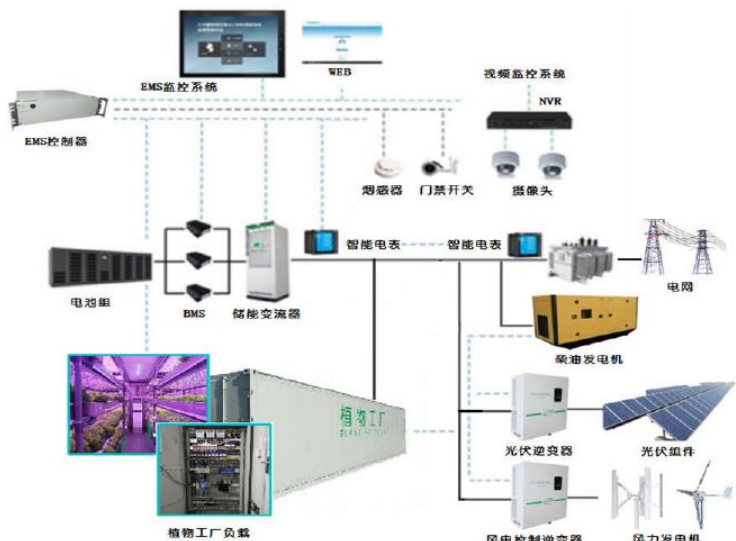
温室+植物工厂



温室+植物工厂



植物工厂



微电网+植物工厂

合作单位：阜阳师范大学物理与电子学院  
项目简介：植物生长对光照需求研究  
产品用途：产学研项目示范

产品特点：单层光谱可调节  
项目进度：产品交付并已投入使用  
种植作物：生菜、油菜等叶菜



发货前调试



产品安装现场



发货前



种植状态

科普教学型植物工厂



【单位】江苏凤山（日本松下植物工厂团队）

【合作内容】植物工厂

【技术支持】高强度光谱可调LED植物照明系统，等

水培+雾培植物工厂



# 光电农业模式可大幅提升农作物光能利用效率



据大馬士革各报今天报道，黎巴嫩国民大会党十四日发表声明說，夏蒙和美国在两天前签订了一项秘密协定。根据这项协定，美国可以使用黎巴嫩的海港和机场，供美国第六舰队和空军执行军事任务之用。

捕了若干人，并且已经开始对他们进行刑罰。人逃走进行准备工作、或者参与他們的“进行“敌对活动”而被刑罰。

中国青年报1958年6月16日千版左侧

## 粮食亩产量会有多少？

钱学森

“前年卖粮用箩挑，去年卖粮用船拖，今年汽车装不，明年火车还嫌小！”

这是江西井冈山农民的一首民歌。我们的土地正在农民双手豪迈的劳动中，付给人们更多的粮食。六月十二日中国青年报第一版上发表了一个动人的消息：河南省遂平县卫星农业社小麦亩产二千一百零五斤以后，又有二亩九分地平均每亩打下了三千五百三十斤小麦。

土地所能给人们的粮食产量碰顶了吗？

科学的计算告诉人们：还远得很！今后，通过农民的创造和农业科学工作者的努力，将会大大突破今天的丰产成绩。因为，农业生产的最終極限决定于每年单位面积上的太

阳光能，如果把这个光能换算农产品，要比现在的丰产量高出很多。现在我们来算一算：把每年射到一亩地上的太阳光能的30%作为植物可以利用的部分，而植物利用这些太阳光能把空气里的二氧化碳和水分制造成自己的养料，供给自己发育、生长结实，再把其中的五分之一算是可吃的粮食，那么稻麦每年的亩产量就不仅仅是现在的两千多斤或三千多斤，而是两千多斤的20多倍！

这并不是空谈。举一个例：今年河南有些特别丰产试验田要在一亩地里收一百六十万斤蔬菜。虽说蔬菜不是粮食，但到底是亩产一百六十万斤！

所以，只要我们有必需的水利、肥料等等条件，加上人们

的不断创造，产量的不断提高是没有问题的。今天条件不具备，明天就会创造出来；今天还没有，明天一定会有！



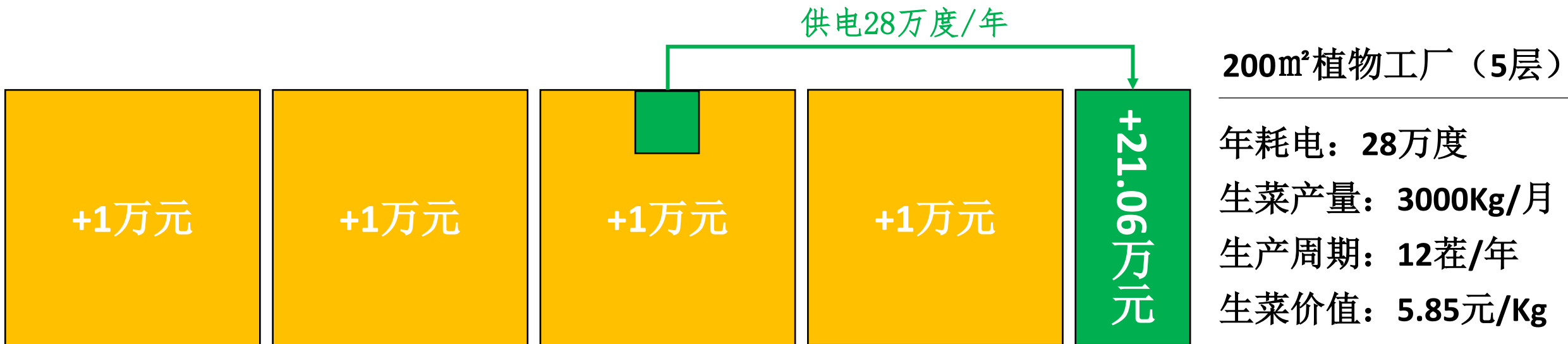
太阳：你把这些都吃掉，还能长大二十倍！  
姜桑画

### 在肥沃的土壤里

素供应作物，相当10斤到17斤肥田粉。你可以从菜园地里挖一斤土来，阴干、压碎，除去大土粒和杂

光伏农场加LED植物工厂可以将**农作物光能利用效率成倍提高**，为中国农业现代化探索一个创新模式。该模式还可以大幅降低**单位土地水资源消耗**、从而突破中国农地**面积和水资源缺乏**二大**瓶颈**，并最终成为一个有**中国特色、高效、可持续发展的现代农业模式**。“光电农业”的**颠覆性**在于通过**太阳能的时空转换、光波长搬运大幅提高农作物光能利用效率**。目前C3和C4两种类型植物理论的光能转化效率分别仅为**4.6%和6%**，而目前农作物吸收的实际效率仅**约1%**。仍然远远低于钱学森先生**曾经预测的30%**。

# 光电农业模式可以大幅提升中国农村农业生产力



## 4亩光伏农业生态农场

单亩发电能力: 7万度/年

以河北地区为例 (全国太阳辐射二类地区)

凭借科学的光照调控及智慧农业,

单亩光伏农业生态农场年作物产出价值:  
>10000元;

**大幅提高单位面积土地年产值:**

该系统年度总产值:  $4 + 21.06 = 25.06$ 万元

4.3亩地传统农业年产值不足1.6万元 (15倍以上)

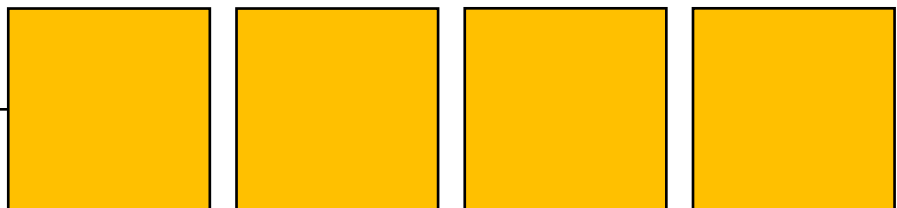
安徽基地种植洋姜/生姜实际数据: 产量可以2500kg/亩/年, 按4.02元/kg计, 产值超1万元



# 一个“光电农业”单元土地预期收益



## 光伏生态农场

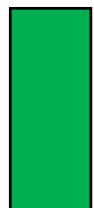


建设成本：约16.5万元/亩×4 = 66万



保证农作物增产+可机械化作业

## 植物工厂



约90万元

注：成本合约155万，但该成本在大规模应用后有大幅下降空间（140万以下）。

寿命：

光伏生态农场≥25年

植物工厂≥20年

年化还贷款：

8.5万元/年

综合寿命20年计

$$\begin{aligned} \text{亩均年化收入} &= (\text{总收入} - \text{成本} - \text{年化折旧}) / \text{面积} \\ &= (25.06\text{万} - 2\text{万} - 8.5\text{万}) / 4.3\text{亩} \\ &\approx 3.4\text{万元/亩/年} \end{aligned}$$

一个“BLUE”单元：

总年化收入 ≈ 14.6万元/年

劳动力需求 = 2人

人均年化收入 = 7.3万/人/年（安新县农村人口可支配收入8倍以上）

# 光电农业原型：光伏供能型植物工厂装备中印部队高原哨所



2020年，团队为我军高海拔哨所紧急提供一批装备，相当于光电农业单元微缩版

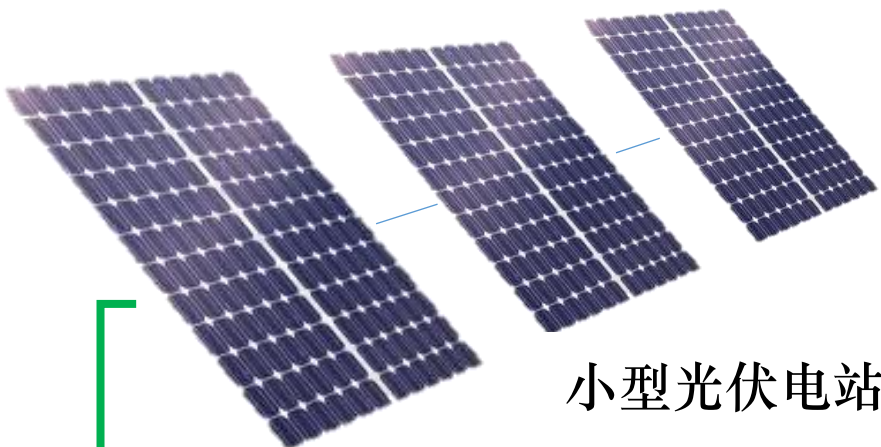
- 光伏供电+储能系统；
- 新疆和西藏边防哨所、青海军事基地等已小批量（20余台）；
- 未来将在更多边防哨所投入使用（全军推广）；
- 军委后勤部门有计划进一步扩展成为士兵休闲氧吧。



2020年10月  
抵达新疆  
边境地区



集装箱植物工厂

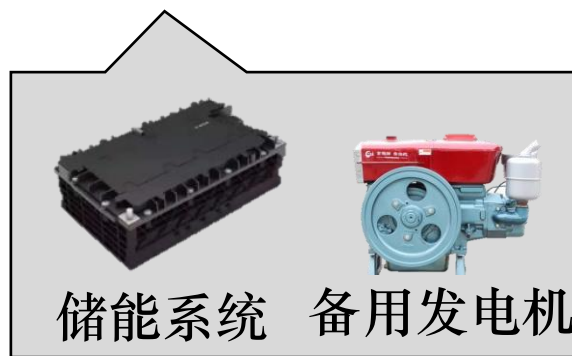


小型光伏电站

供电



光伏自动化雪系统（预备）



储能系统 备用发电机



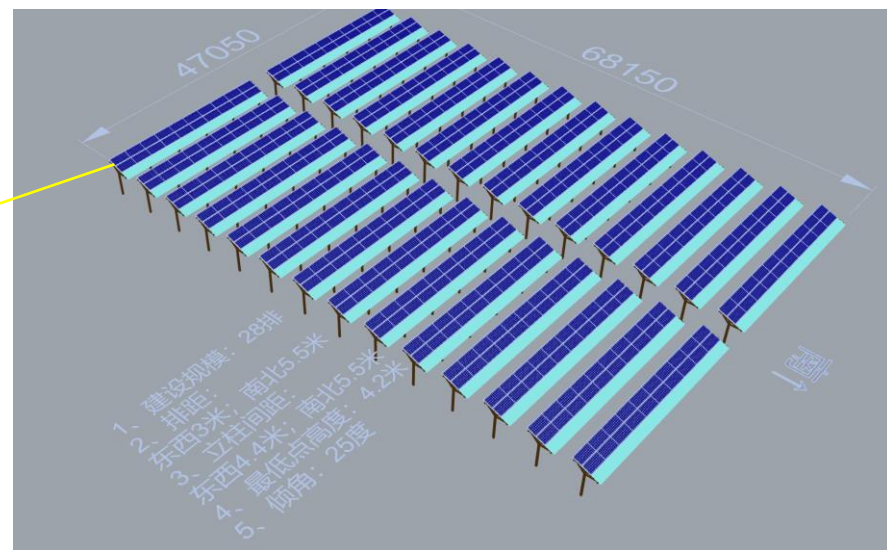
现场实拍



# 正在筹建中的安新县建立光电农业示范单元



首个光电农业单元将  
依托雄安新区安新县  
现代农业产业园建设



- ✓ 三种创新光伏农场技术;
- ✓ 集装箱式植物工厂;
- ✓ 直流直驱电源管理系统;
- ✓ 剩余电能供电园区, 实现零碳;



# 请批评指导！

[Email:wenliu@ustc.edu.cn](mailto:wenliu@ustc.edu.cn)

Tel: 13365512277