

我国光伏农业的发展阶段与地域分布

陈健^{1,2}, 王玲俊³ (1.南京林业大学经济管理学院, 江苏南京 210037; 2.南京林业大学中国特色生态文明建设与林业发展研究院, 南京 210037; 3.南京工程学院经济与管理学院, 江苏南京 211167)

摘要 光伏农业是近年来出现的一种新型农业。对光伏农业项目数据进行了搜集与整理, 以此为基础分析了我国光伏农业的发展阶段与地域分布, 研究发现: 我国光伏农业的发展主要经历了萌芽阶段、启动阶段和推进阶段, 其主要分布于农业资源基础较好的地区。此外, 各种光伏农业模式体现出不同的集聚特性, 光伏治沙的集聚性最强, 其次是渔光互补, 光伏农业大棚和农光互补的集聚性较弱。

关键词 光伏农业; 发展阶段; 地域分布; 集聚

中图分类号 F322 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)08-0246-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.08.065

开放科学(资源服务)标识码(OSID): 

The Development Stage and Regional Distribution of Photovoltaic Agriculture in China

CHEN Jian^{1,2}, WANG Ling-jun³ (1.College of Economics and Management, Nanjing Forestry University, Nanjing, Jiangsu 210037; 2.Research Institute of Ecological Civilization Construction with Chinese Characteristics and Forestry Development, Nanjing Forestry University, Nanjing, Jiangsu 210037; 3.School of Economics and Management, Nanjing Institute of Technology, Nanjing, Jiangsu 211167)

Abstract Photovoltaic agriculture is a new type of agriculture that has emerged in recent years. This paper collected and sorted out the data of photovoltaic agriculture projects, and analyzed the development stage and geographical distribution of photovoltaic agriculture in China. The research found that the development of photovoltaic agriculture in China has mainly experienced the budding stage, the start-up stage and the advancing stage, and its main distribution in areas with a good agricultural resource base. In addition, various photovoltaic agriculture modes exhibit different agglomeration characteristics. Photovoltaic sand control has the strongest agglomeration, followed by fishery-photovoltaic complementary mode, and the agglomeration of photovoltaic greenhouse and agricultural-photovoltaic complementary mode are weaker.

Key words Photovoltaic agriculture; Development status; Regional distribution; Agglomeration

光伏农业是将太阳能发电广泛应用到现代农业种植、养殖、灌溉、病虫害防治以及农业机械动力提供等领域的一种新型农业^[1-2]。农业和光伏的结合始于 20 世纪 70 年代, 1975 年首台光伏水泵面世。随后的 20 世纪 80 年代, 美国较早对光伏发电在农业部门的应用做了市场预测与评估, 认为光伏发电在农业部门的应用有着很大的市场潜力^[3]。但由于经济、技术和制度等方面的障碍, 这一时期太阳能光伏在农业方面的应用并未得到推广^[4]。20 世纪 90 年代以来, 技术进步使光伏发电成本逐渐下降, 进而促使了近年来光伏发电在农业中的大规模应用^[5], 光伏农业逐渐形成气候。并且, 新时代赋予了光伏农业更多的使命, 一方面是为应对全球气候变暖, 需要在农业生产中引入清洁能源; 另一方面, 全球人口的持续增长, 需要农业生产出更多的粮食, 这也意味着更多的电力消耗, 光伏农业有着非常广阔的应用前景^[6]。近年来, 我国农业光伏电站建设经历了飞速发展。2009 年, 我国农业光伏电站的装机容量不到 0.001 GW, 2014 年则达到 1.18 GW。据中国储能网数据统计, 2019 年, 我国农业光伏电站累计装机容量已达到 14.15 GW。在当下光伏行业快速发展的浪潮下, 光伏农业扮演着重要的角色, 其被看作是行业发展的破冰之举, 具有广阔的发展前景^[7-8]。从农业角度来看, 光伏农业将打破我国传统农业发展的瓶颈, 是进一步发展农村经济, 改善农民生活的必然选择, 也是农业生产方式变革时势所趋^[9-10]。从长远来看, 发展光伏农业对于中

国的农业转型具有重要意义^[11]。笔者搜集了光伏农业项目的数量信息, 在此基础上分析了我国光伏农业的发展阶段与地域分布, 初步掌握了我国光伏农业的发展现状, 以期对光伏农业方面的政策制定提供参考。

1 样本搜集与整理

1.1 样本搜集 样本搜集于中国储能网(<http://www.escn.com.cn/>), 该网站设有专门的“光伏农业”板块, 此板块设置在“市场二级”部分的“光伏市场”内容下面, 用以披露备案、招标、中标、签约、开工、竣工、验收和并网的光伏农业项目情况。截至 2019 年 12 月 31 日, 中国储能网的“光伏农业”板块共有 776 条关于光伏农业项目情况的相关信息, 这些信息涵盖了光伏农业项目的地点、类型、开工和并网时间等信息。从搜集到的具体信息来看, 有些项目仅披露了上述信息中的部分信息。为了获取更全面的信息, 笔者就具体项目进一步通过北极星太阳能光伏网(<https://guangfu.bjx.com.cn/>)、索比光伏网(<https://www.solarbe.com/>)、光伏企业网站、各地政府发改委及能源局网站进行了相关信息的补充。

1.2 样本整理 按照国家能源局的相关规定, 光伏电站的建设实行备案制度。对于农业光伏电站的投资方而言, 首先应到当地发改委部门进行电站建设的备案。取得备案以后, 投资方可自行建设电站, 也可就电站的建设进行招标, 邀请有资质的建设方进行电站建设。从实际情况来看, 后一种方式较为多见, 并一般采用 EPC(engineering procurement construction)模式。如采用后一种方式, 中标企业在中标后便开始进行电站建设, 竣工后由业主(投资方)组织电站验收工作。验收完毕后, 即可进行并网发电。

对于上述中国储能网披露的 776 条光伏农业项目信息,

基金项目 江苏省社会科学基金项目(20GLD010); 南京工程学院高层次人才引进人才科研启动基金项目(YKJ202024)。

作者简介 陈健(1985—), 男, 江苏江阴人, 讲师, 在读博士, 从事产业经济与管理、光伏农业研究。

收稿日期 2021-07-02

首先剔除重复披露信息。进而考虑到光伏农业项目需要并网发电后才能完全排除不确定性,该研究剔除了尚在备案、招标、中标、签约、开工、竣工、验收过程中的项目,最终选择

了 278 个已并网发电的光伏农业项目为研究样本,其时间与模式分布如表 1 所示。

表 1 样本项目年份与模式分布
Table 1 Year and pattern distribution of sample items

模式 Model	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	合计 Total
光伏农业大棚 Photovoltaic agricultural greenhouse	1	0	7	8	16	23	14	3	0	72
农光互补 Agro-photovoltaic complementarity	0	0	1	0	7	22	32	12	7	81
林光互补 Forestry-photovoltaic complementarity	0	0	0	0	1	6	0	1	3	11
牧光互补 Husbandry-photovoltaic complementarity	0	0	0	0	0	1	4	0	2	7
渔光互补 Fishery-optical complementarity	1	0	5	5	11	26	42	11	2	103
光伏治沙 Photovoltaic sand control	0	0	0	1	0	1	0	1	1	4
合计 Total	2	0	13	14	35	79	92	28	15	278

2 我国光伏农业的发展阶段

以表 1 中的数据为基础,进一步绘制了不同模式光伏农业项目数量的时间分布图,具体如图 1 所示。根据该图的显

示,将我国光伏农业的发展阶段分为 3 个:萌芽阶段、启动阶段和推进阶段。进而结合相关外部环境和政策,对各阶段的发展状况进行了原因分析。

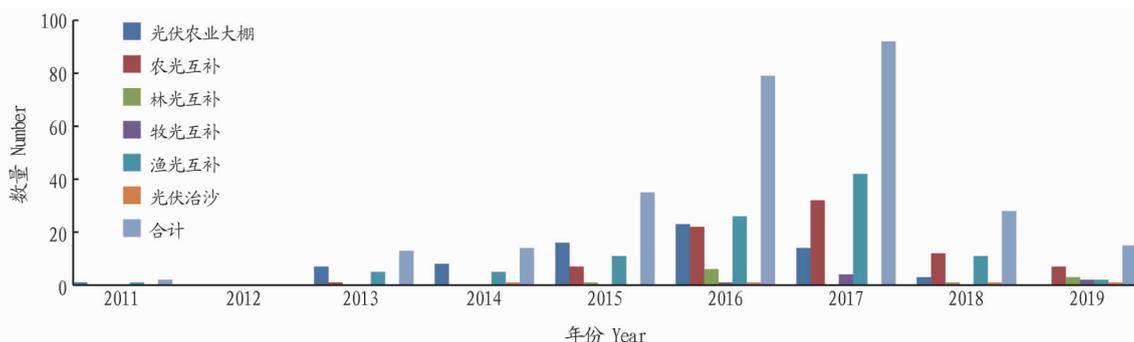


图 1 不同模式光伏农业项目数量的时间分布

Fig.1 Time distribution of the number of photovoltaic agricultural projects in different models

2.1 萌芽阶段 该阶段的时间跨度为 2011—2012 年,整个期间仅有 2 个项目并网发电,均发生于 2011 年。究其原因,主要是由于国际环境不利于我国光伏产业的发展。2011 年 11 月 8 日,美国商务部正式立案对产自中国的太阳能电池进行“双反”调查。2012 年 11 月 7 日,美国国际贸易委员会(ITC)作出终裁,认定从我国进口的晶体硅光伏电池及组件实质性损害了美国相关产业,美国将对此类产品征收反倾销和反补贴关税。受此影响,我国的光伏产业在这一期间处于“漩涡”之中,导致 2012 年未有光伏农业项目并网发电。2012 年 11 月 8 日,欧盟也加入了“双反”队伍,启动了对我国光伏产品的“双反”调查,我国的光伏产业可谓是祸不单行。这一事件在 2013 年持续发酵,直到 2013 年年底才得以平息。此外,2 个项目中的 1 个为光伏农业大棚项目,另 1 个为渔光互补项目,说明我国对这 2 种光伏农业模式的实践探索较早。

2.2 启动阶段 该阶段的时间跨度为 2013—2014 年,整个期间有 27 个项目并网发电,2013 年有 13 个,2014 年有 14 个。该阶段的项目类别仍以光伏农业大棚和渔光互补项目为主,数量分别为 15 和 10 个,再次说明了我国早期的光伏农业项目主要为光伏农业大棚和渔光互补项目。同时,分别有 1 个农光互补和 1 个光伏治沙项目并网发电,丰富了光伏

农业项目的模式。尽管这一时期的国际环境仍然不利,但工信部于 2012 年发布了《太阳能光伏产业“十二五”规划》,将太阳能光伏发电生态农业大棚的模式划为光伏建筑一体化示范项目,享受国家财政补贴,这也是这一期间光伏农业大棚项目数量占到了光伏农业项目总量一半以上的主要原因。随后的 2013 年 7 月,国务院发布了《国务院关于促进光伏产业健康发展的若干意见》,提出了 2013—2015 年全国年均新增光伏装机容量和累计总装机容量的目标。上述 2 项政策对光伏农业的启动起到了关键作用,受此影响,我国 2013 和 2014 年新增的农业光伏电站装机容量分别为 0.37 和 0.82 GW,累计总装机容量达到 1.23 GW。

2.3 推进阶段 该阶段的时间跨度为 2015—2019 年,整个期间有 249 个项目并网发电,前 2 年分别有 35 和 79 个;2017 年达到最高,为 92 个;随后的 2018 和 2019 年则出现了快速回落现象。这一阶段的项目模式得到了进一步丰富,出现了林光互补和牧光互补项目,使得光伏农业项目涉及了农、林、牧、渔各个方面。这一阶段的政策方面,国家能源局于 2014 年出台了《关于进一步落实分布式光伏发电有关政策的通知》,提出“利用废弃土地、荒山荒坡、农业大棚、滩涂、鱼塘、湖泊等土地资源建光伏发电项目”,这一政策的出台使我国光伏农业迎来了新的发展契机,也推动了光伏农业的全面发

展。随后的《太阳能光伏发展“十三五”规划》提出了2016—2020年光伏装机容量目标,分布式光伏成为光伏发展“十三五”规划的重要组成部分,而光伏农业是分布式光伏的重要组成部分,该政策的发布推进了光伏农业的全面发展。此外,2015年6月1日,工信部、能源局和认监委联合发布了《关于促进先进光伏技术产品应用和产业升级的意见》,推出了光伏“领跑者”计划,很多光伏农业项目受到了该计划的支持。例如,2016年6月30日并网的山西左云店湾镇林光互补项目,是国家能源局首个“光伏领跑者示范基地”项目;又如,江苏华电投资的2017年2月23日并网发电的江苏仪征大仪56 MW农光互补光伏发电项目,是2016年度江苏省光伏“领跑者”计划,也是该省首批列入计划的8个项目之一;再如,由中广核投资,并于2018年9月30日并网的泗洪天岗湖、香套湖2号、4号渔光互补项目,是第三批应用领跑基地项目。2016年,国务院发布了《“十三五”脱贫攻坚规划》,将光伏扶贫作为产业扶贫的重要内容之一,并于2017年末下达了“十三五”第一批光伏扶贫项目计划。从近年来并网发电的光伏农业项目来看,光伏扶贫对光伏农业的发展产生了极大的推动作用。据统计,表1中的72个光伏农业大棚项目中,有16个为光伏扶贫项目,占比为22.2%;81个农光互补项目中,有24个为光伏扶贫项目,占比达30%;渔光互补类别的扶贫项目较少,103个项目中有7个光伏扶贫项目。而4个光伏治沙项目中有3个光伏扶贫项目,占比高达75%。总体而言,278个光伏农业项目中,受到光伏扶贫计划支持的有50个,占比为18%。

综上,受外部环境影响,我国在2011年以后逐渐将光伏市场转向国内,带动了我国光伏农业的发展。在后续一系列

相关政策的推动下,我国光伏农业的发展主要经历了2012年以前的萌芽阶段、2013—2014年启动阶段、2015年以后的推进阶段。发展至今,我国的光伏农业已颇具规模。从具体模式来看,项目数较多的是光伏农业大棚、农光互补和渔光互补,尤以渔光互补为最多。可见,相比较同为发展较早的模式——光伏农业大棚,渔光互补模式受到了更广泛的认可。究其原因,主要是出于成本方面的考虑。笔者曾经咨询过业内人士,光伏农业大棚的成本较之上述其他方式要更高。3种模式中最晚出现的是农光互补,目前来看具有较好的发展趋势。尤其是在2018—2019年,该模式的新增项目数超过了渔光互补,是6种模式中最多的。可以预见,随着我国光伏电站装机容量的不断攀升,未来一段时间内,农光互补项目数还将呈现出继续增长的态势。其余3种模式项目数量较少,尤其是光伏治沙(也被称为“沙光”),目前仅有内蒙古的4个项目投入运营,充分体现了光伏农业发展的区域特性。

3 我国光伏农业的地域分布

为了反映我国光伏农业的地域分布,对表1中的项目地域分布进行了统计,结果见表2。

由表2可知,截至2019年12月31日,除港、澳、台地区外,全国31个省、自治区和直辖市中有26个地区有光伏农业项目并网发电,未有光伏农业项目并网发电的地区有北京市、黑龙江省、上海市、重庆市和新疆维吾尔自治区。排在前三位的分别是江苏省、浙江省和安徽省,尤其是江苏省,项目数量达到了44个,占全国总数量的16%。排名倒数3位的分别是四川、天津和青海,其中,四川省仅有一个渔光互补项目并网发电。

表2 我国光伏农业项目数量的地域分布

Table 2 The geographical distribution of the number of photovoltaic agricultural projects in China

序号 No.	地区 Area	模式 Model						合计 Total	排名 Ranking
		光伏农业大棚 Photovoltaic agricultural greenhouse	农光互补 Agro-phot- ovoltaic comple- mentarity	林光互补 Forestry- photovoltaic comple- mentarity	牧光互补 Husbandry- photovoltaic comple- mentarity	渔光互补 Fishery-optical comple- mentarity	光伏治沙 Photovoltaic sand control		
1	天津	1	0	0	0	1	0	2	24
2	河北	4	1	0	0	0	0	5	18
3	山西	4	3	1	1	0	0	9	13
4	内蒙古	8	0	0	1	0	4	13	6
5	辽宁	1	1	0	0	2	0	4	19
6	吉林	2	1	0	2	1	0	6	16
7	江苏	6	4	0	0	34	0	44	1
8	浙江	2	15	0	1	16	0	34	2
9	安徽	7	6	0	0	14	0	27	3
10	福建	0	3	0	0	1	0	4	19
11	江西	2	3	4	0	7	0	16	4
12	山东	7	1	0	0	8	0	16	4
13	河南	9	1	1	0	0	0	11	8
14	湖北	3	5	0	0	4	0	12	7
15	湖南	0	2	0	0	7	0	9	13

接下表

续表 1

序号 No.	地区 Area	模式 Model							合计 Total	排名 Ranking
		光伏农业大棚 Photovoltaic agricultural greenhouse	农光互补 Agro-phot- ovoltaic comple- mentarity	林光互补 Forestry- photovoltaic comple- mentarity	牧光互补 Husbandry- photovoltaic complementarity	渔光互补 Fishery-optical complementarity	光伏治沙 Photovoltaic sand control			
16	广东	0	6	1	0	4	0	11	8	
17	广西	4	2	2	0	2	0	10	10	
18	海南	2	5	0	0	0	0	7	15	
19	四川	0	0	0	0	1	0	1	26	
20	贵州	1	8	1	0	0	0	10	10	
21	云南	1	2	0	0	0	0	3	21	
22	西藏	0	1	0	2	0	0	3	21	
23	陕西	2	7	1	0	0	0	10	10	
24	甘肃	1	2	0	0	0	0	3	21	
25	青海	1	1	0	0	0	0	2	24	
26	宁夏	4	1	0	0	1	0	6	16	
合计 Total		72	81	11	7	103	4	278	—	

可以看出,全国的光伏农业项目主要集聚于华东 3 省,江苏、浙江和安徽的项目数总和达到了 105 个,占到全国项目总数的 38%。对照原农业部等部委于 2015 年 5 月联合发布的《全国农业可持续发展规划(2015—2030 年)》中对我国农业可持续发展的分区,这 3 省都处于优化发展区。而对照国家发改委于 2017 年 12 月发布的《2018 年全国光伏发电上网电价表》中对我国太阳能资源的分区,3 省都处于Ⅲ类资源区,太阳能资源相对并不丰富。说明我国现阶段光伏农业的发展主要位于农业资源基础较好的地区,而太阳能资源并非建设光伏农业项目考虑的最主要因素。相应地,除华东 3 省外,内蒙古、江西、山东、河南、湖北、广东、广西、贵州和陕西 9 省区的光伏农业项目数量达到了 10 个及以上,这些地区多数位于农业可持续优化发展区。此外,不同光伏农业模式的集聚性有所区别,集聚性最强的是光伏治沙,全国所有的沙光项目都位于内蒙古。其他 5 种模式中,渔光互补显示出了较强的集聚性,全国 62% 的渔光项目位于华东 3 省。相对而言,光伏农业大棚和农光互补的集聚性要弱一些。

4 结语

该研究于中国储能网等网站搜集了 2011—2019 年我国光伏农业的相关信息,从中整理出了 278 个已并网发电的项目作为研究样本,以此为基础探讨我国光伏农业的发展阶段与地域分布,主要结论如下:①受产业环境和相关政策影响,我国光伏农业的发展主要经历了萌芽阶段、启动阶段和推进

阶段。②当前我国光伏农业的地域分布主要受农业资源的影响,具体表现为:农业资源基础越好,光伏农业发展也越好,这也说明了光伏农业的发展应以农业为基础。③各种光伏农业模式体现出不同的集聚特性,光伏治沙的集聚性最强,其次是渔光互补,光伏农业大棚和农光互补的集聚性较弱。

参考文献

- [1] 彭梅牙.新余市大力发展光伏农业[J].南方农机,2012(2):4-6.
- [2] 简火仔.光伏农业带来光明未来[J].江西农业,2013(5):18.
- [3] BRAINARD W A.The worldwide market for photovoltaics in the rural sector[C]//Proceeding of the 16th Photovoltaic Specialists Conference, San Diego, California, USA.New York:IEEE,1982:1308-1313.
- [4] JARACH M.An overview of the literature on barriers to the diffusion of renewable energy sources in agriculture[J].Applied energy,1989,32(2):117-131.
- [5] BRUDERMANN T,REINSBERGER K,ORTHOFFER A, et al.Photovoltaics in agriculture: A case study on decision making of farmers[J].Energy policy,2013,61:96-103.
- [6] DINESH H,PEARCE J M.The potential of agrivoltaic systems[J].Renewable and sustainable energy reviews,2016,54:299-308.
- [7] XUE J L.Photovoltaic agriculture-New opportunity for photovoltaic applications in China[J].Renewable and sustainable energy reviews,2017,73:1-9.
- [8] WANG L J,WANG Y,CHEN J.Assessment of the ecological niche of photovoltaic agriculture in China[J].Sustainability,2019,11(8):1-17.
- [9] 阮晓东.光伏农业:绿色新路[J].新经济导刊,2014(3):30-33.
- [10] 房裕东,黄绍华,秦树香,等.光伏农业发展现状与前景分析[J].长江蔬菜,2015(18):35-40.
- [11] 张小杭,崔寿福,刘福平.光伏农业的发展概况[J].安徽农业科学,2015,43(19):229-231.

(上接第 245 页)

- [17] GERDESSEN J C,PASCUCCHI S.Data Envelopment Analysis of sustainability indicators of European agricultural systems at regional level[J].Agricultural systems,2013,118:78-90.
- [18] DARRADI Y,SAUR E,LAPLANA R, et al.Optimizing the environmental performance of agricultural activities:A case study in La Boulouze watershed[J].Ecological indicators,2012,22:27-37.
- [19] VAN PASSEL S,MEUL M.Multilevel and multi-user sustainability assessment of farming systems[J].Environmental impact assessment review,2012,32(1):170-180.
- [20] MOREAU P,RUIZ L,MABON F, et al.Reconciling technical, economic and environmental efficiency of farming systems in vulnerable areas[J].Agriculture, ecosystems & environment,2012,147:89-99.

- [21] DANTSIS T,DOUMA C,GIOURGA C, et al.A methodological approach to assess and compare the sustainability level of agricultural plant production systems[J].Ecological indicators,2010,10(2):256-263.
- [22] CASTOLDI N,BECHINI L.Integrated sustainability assessment of cropping systems with agro-ecological and economic indicators in northern Italy[J].European journal of agronomy,2010,32(1):59-72.
- [23] KONDYLI J.Measurement and evaluation of sustainable development: A composite indicator for the islands of the North Aegean region, Greece[J].Environmental impact assessment review,2010,30(6):347-356.
- [24] GÓMEZ-LIMÓN J A,RIESGO L.Alternative approaches to the construction of a composite indicator of agricultural sustainability: An application to irrigated agriculture in the Duero basin in Spain[J].Journal of environmental management,2009,90(11):3345-3362.