

太阳能热利用技术在我国温室中的应用现状

中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所 ■ 伍纲* 杨其长 张义 方慧

摘要: 温室作为利用太阳能的设施,从上世纪 80 年代开始,获得了长足的发展,温室面积逐年扩大。近年来,如何进一步提高温室内部太阳能热利用的效率成为了研究热点,也研发出多种太阳能热利用技术,本文将在这一方面进行梳理和总结。未来,在确保蔬菜周年供应和农民增收的前提下,资源节约型和环境友好型的温室生产方式将得到进一步升级和推广。

关键词: 温室; 太阳能; 热利用

0 引言

2017 年初,中共中央、国务院发布的《关于深入推进农业供给侧结构性改革 加快培育农业农村发展新动能的若干意见》指出,必须转变农业原有生产方式,大力推动绿色农业的发展,加强农业发展的可持续能力。

现阶段,北方越冬农作物的生产全部依靠温室,绝大多数温室仍沿袭传统的燃煤供暖方式,废气的排放影响了大气环境,运行费用也占据了较高比例,这些都制约着温室生产的经济效益。尤其是近年来,雾霾灾害肆虐,我国北方许多城市都出台了相关政策,坚决取缔传统的烧煤小锅炉。而对于部分不加温日光温室,仍面临着冬季低温冷害频发的困境。太阳能作为一种分布较广的清洁能源,在温室增温中能够替代煤炭来进行加热^[1]。温室自身就是一个太阳能高效利用的设施,但仍然存在部分能源未被有效利用的情况,温室的太阳能热利用技术研发仍有巨大的发展空间。

1 温室中太阳能热利用技术的应用现状与主要形式

根据农业部统计的数据(见图 1),截止到 2016 年,我国温室总占地面积达到 208 万 hm²(1 hm²=10000 m²),已成为全球该类设施拥有量最多的国家。在 34°N~42°N 区域的冬季,利用具有中国特色的节能日光温室,在不加温的条件下,

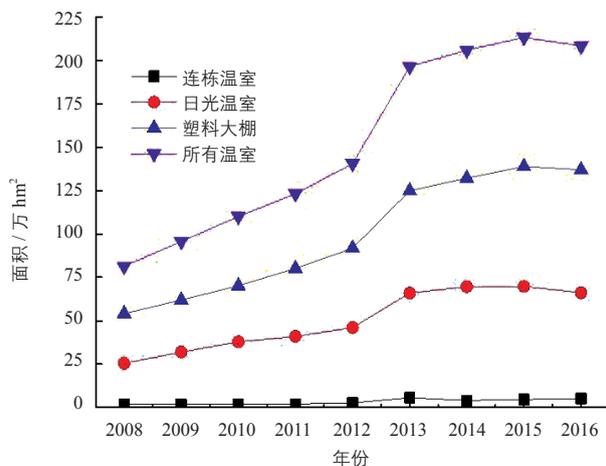


图 1 全国设施园艺面积及结构类型的逐年变化

收稿日期: 2018-02-27

基金项目: 中国博士后科学基金资助项目(2017M620077); 国家自然科学基金项目(51508560)

通信作者: 伍纲(1985—), 男, 博士, 主要从事太阳能热利用方面的研究。wugang2013de@163.com

也能在室内进行农作物的连续生产^[2]。但另一方面,由于农户自身经济条件的限制,温室设施比较简陋,结构不规范,导致温室生产效率低。北方地区广泛使用的日光温室的热量完全来自太阳能,部分喜温蔬菜温室采用热源进行补充供暖。

1.1 温室太阳能集热技术

国家气象局太阳能中心将全国太阳能资源划分为4类,其中,I类地区(资源丰富带)和II类地区(资源较丰富带)为全年辐射量在5400 MJ/m²以上的地区^[3]。这类地区纬度较高,在冬季寒流来临时容易给温室蔬菜生产造成严重侵害。值得庆幸的是,我国1月份0℃等温线(见图2中红线)以北的大部分地区,太阳能资源非常丰富。如图2、图3所示,北方省份温室面积在全国占很大比重,这与我国北方寒冷地区不加温进行蔬菜越冬栽培具有一定的正相关性。因此,利用太阳能对温室进行储能调温,符合当前低碳节能的发展趋势,也具有广阔的发展前景。

我国温室的内置太阳能集热器一般靠近北墙,这样几乎不占用室内种植面积;外置太阳能集热器一般位于温室北墙之上,或是除温室

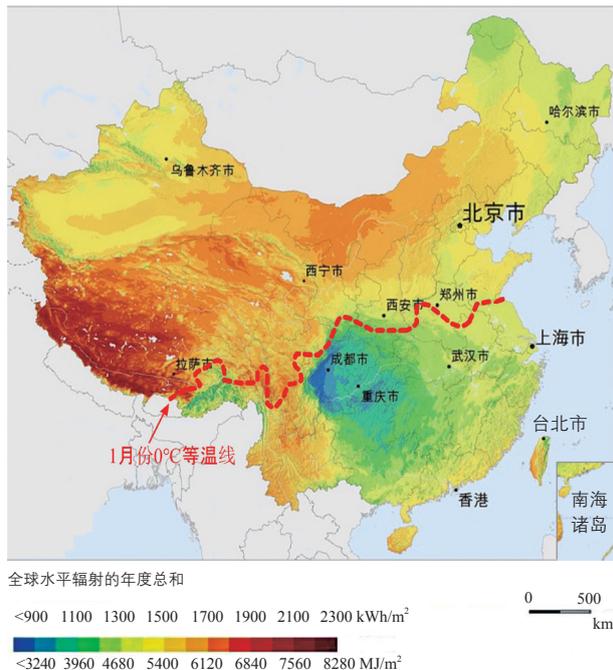


图2 我国太阳能资源与各省温室面积(圆面积)的相对分布(2015年)

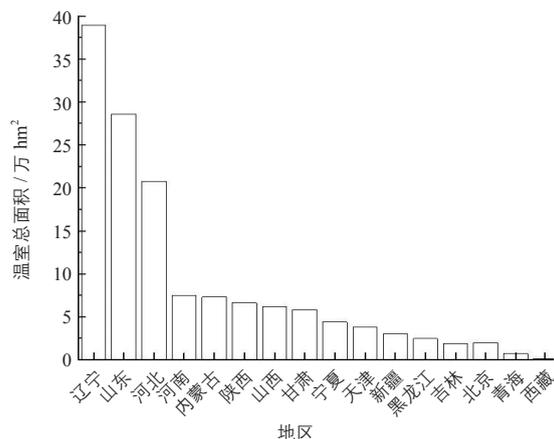


图3 1月0℃等温线以北各省温室面积分布(2015年)^[2]

北侧之外的四周空地上。温室中常用的太阳能集热器可划分为平板集热器和全玻璃型真空管集热器。按传热工质类型可分为液体和空气集热方式。

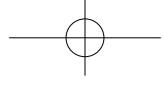
温室的设计与建设必须坚持因地制宜的原则,依据当地的自然气候和作物种植要求建设最适宜的温室。北方地区的温室建设重点在于节能环保和抗暴风雪。若在冬季使用平板集热器(外置)必须考虑防冻措施,而全玻璃型真空管集热器在所处环境为-15℃以上时,具有一定的防冻功能。相较于以上两种集热器,热管型真空管集热器在冬季长时间处于阴天和夜间低温条件下也不会损坏^[4]。平板集热器适用于我国南方地区,全玻璃型真空管集热器则可在华北和部分西北地区使用,而热管型真空管集热器则适宜在寒冷地区使用。因此,从技术和经济性方面考虑,不同的太阳能集热器在我国适用的地区及价格不同,具体如表1所示。

表1 我国太阳能集热器分布地区及价格

类型	分布地区			价格 /元·m ²
	极寒	寒冷	无冰	
平板集热器		√	√	1000
全玻璃型真空管集热器		√		1800
热管型真空管集热器	√	√		2000

注:价格范围由桑普太阳能提供(2017年)

许多国内与国外研究者都考虑利用太阳能集热的方法来改善温室内的微气候。李文等^[5]利



用温室内北墙上的集热器进行主动蓄放热,白天利用水介质将到达温室北墙的太阳辐射吸收并蓄积起来,等夜晚环境温度降低以后,再通过反向循环将热量在室内释放出来。在该主动方式下,蓄积和释放热能的效率被成倍提高,同时也提升了冬季夜晚温室的内部温度。马承伟等^[6]采用温室屋架管网水循环集放热系统,进一步提升了白天温室的太阳能利用率,吸收室内部分热能,再通过释放储存的热量用于夜间增温。陈紫光等^[7]研发了一种可直接安装在日光温室后墙顶部、体积小、安装方便且不占用耕地的日光温室专用多曲面槽式太阳能空气集热器,晴好天气时,空气集热器的最大单位日积累热量可达 $6.2 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。但这类新颖的太阳能集热器最主要的问题在于其对太阳辐射的接收面积偏少,集热量相对于温室的需求来说比较有限,如何进一步提高集热效率,研发与温室结构相适宜的热能利用形式是技术突破的关键。

1.2 温室中太阳能蓄热技术

利用太阳能进行蓄热,就是分别对显热、潜热或化学反应热进行蓄积。显热储存通常采用液体和固体两类材料(气体比热容小,一般不用)。目前比较一致的看法是,在中、低温(特别是热水、采暖和空调系统所适用的温度)范围内,考虑到经济成本,经常采用水作为液体蓄热材料,同时选用砂石作为固体蓄热材料。这些材料不仅具有热容量大、来源广泛和价格低廉的优点,而且无毒性 and 腐蚀性;但其缺点在于质量和体积大、输入与输出热流温度变化范围大,且不稳定。张新桥等^[8]在严寒地区温室内布置蓄热水池对太阳能进行收集和储存,发现3~10月的节能效果显著,其中,6~8月的节能效果为100%。

在温室应用中,通常将太阳能集热和土壤蓄热技术相结合利用,因为温室内土壤热容量比较大,白天吸收的热量不仅可以保持至夜间,有些还可维持数天,可起到节能增产的目的。

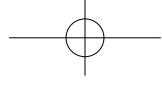
上世纪80年代,我国开始利用太阳能集热器对温室土壤进行蓄热研究,和普通太阳能热水器利用方式类似。太阳能集热器能够将地温提高 $3 \sim 5 \text{ }^\circ\text{C}$,同时运行费用低,但初期投资比较大^[9]。而且,通过气体进行集热,鼓风机将温室内部比较热的空气通入土壤之中,但温室内空气的热量非常有限,这些热量不足以加热土壤供其在夜间使用^[10]。

利用潜热进行储存能够弥补显热储存的缺点,可蓄积更多的热量,且进出蓄热系统的工质温度波动幅度较小。不少无机盐的水合物,在低温范围内,其熔点都比较适合作为储热的相变材料,储能密度都在 $120 \sim 300 \text{ kJ/kg}$ 的范围,且价格便宜,来源也较为丰富。正是由于无机盐水合物较低的熔点,其与平板集热器配合使用,可保证集热器始终保持在较高的效率下运行。李晓野^[11]选用比较常见的磷酸氢钠和硅酸钠的水合物作为相变储热材料,对温室进行集热蓄热实验,蓄热效率约为43%。

太阳能热利用系统包括太阳能集热器、储热装置、换热设备、用热设备、辅助能源加热设备和控制设备等。如果使用太阳能系统取得低温热水,那么直接用水储热最为合理,若换用其他储热介质,再通过换热设备,在传热过程中必将损失一部分可应用的热能。另外,储热容量是必须要考虑的另一个因素。容量太大,必然会增加投资额和运行费用;当容量足够用时,尽量保持小容量,这样有益于快速升温。

1.3 热泵集热系统

作为一种新能源技术,通过热泵技术将低品味热源提升至高品味热源被更多地运用在温室加温上。太阳能集热技术与热泵技术是两个比较成熟的技术。水源热泵和地源热泵以浅层地热作为热源,高效节能、系统稳定。太阳能热泵将太阳能辐射热作为热泵蒸发器的热源,不断对热泵热源进行能源补充,在较高的蒸发器温度下,可获得较大的能效比(COP)。该系统可防止蒸发器结



霜,减少了除霜时间。太阳能作为辅助热源提高了系统的蒸发温度,间接改善了压缩机工作环境,延长了机组寿命,从而提高了集热效率,增加了对太阳能的利用率,两者互为补充。国内研究者对温室太阳能热泵进行加温实验后发现,热泵系统的COP一般在3左右^[12]。

随着农业生产对能源的需求越来越强烈,节能降耗及环保方面的问题日益突出,太阳能集热与热泵的结合会越来越有市场,必将成为未来的主要供能手段。

2 技术发展的展望

万物生长靠太阳。温室是能够同时利用太阳光光合能量和光热转换的设施。其中,光热转换利用率能够达到80%,光合利用率约为5%,温室种植的产量可达到露天种植的产量的5倍左右。对于人均耕地面积只占世界人均水平25%的中国来说,其意义是巨大的。未来,太阳能热利用技术在温室中的应用应向以下几个方向发展。

1) 太阳能直接吸收技术。该技术是利用介质流体直接全部或部分吸收太阳辐射进行光热转换,温室最大的光接收面积是整个温室的外层薄膜,应着重研究对植物生长的光热两相性的薄膜集热技术及配套设施。

2) 温室内高效集热、储能、用能技术。采用“削峰填谷”的思路,进一步提高温室白天的太阳辐射收集效率,高效储能,研发适用于温室的加温方式,研制适用于温室的太阳能主动截获技术及装备。

3) 太阳能热泵能效的提升技术。针对温室作物需求的热环境要素,研究制定热泵运行机制,提高热泵在不同天气条件下的整体运行效率。

3 结论

本文梳理和总结了太阳能热利用技术在我国温室中的应用现状与主要形式,并对该技术的发展提出了展望。未来,资源节约型和环境友好型的温室生产方式将得到进一步的推广和应用。

参考文献

- [1] 张述英,王向东. 蔬菜保护地高产高效栽培技术[M]. 北京: 中国农业出版社,1997.
- [2] 农业部农业机械化管理司. 全国农业机械化统计年报[R]. 农业部农业机械化管理司,2016.
- [3] 熊莉萍. 充分利用太阳能资源,加快宁夏光伏发电开发[J]. 科技与企业,2011,(16): 83 - 85.
- [4] 王奉钦. 太阳能集热器辅助提高日光温室低温的应用研究[D]. 北京: 中国农业大学,2014.
- [5] 李文,杨其长,张义,等. 日光温室主动蓄放热系统应用效果研究[J]. 中国农业气象,2013,34(5): 557 - 562.
- [6] 马承伟,姜宜琛,程杰宇,等. 日光温室钢管屋架管网水循环放热系统的性能分析与实验[J]. 农业工程学报,2016,21(32): 209 - 216.
- [7] 陈紫光,陈超,凌浩怒,等. 日光温室专用多曲面槽式太阳能空气集热器热工性能实验研究[J]. 建筑科学,2014,8(30): 58 - 63.
- [8] 张新桥,陈文. 温室太阳能蓄热水池的节能分析[J]. 农机化研究,2011,(8): 46 - 50.
- [9] 戴巧利,左然,李平,等. 主动式太阳能集热/土壤蓄热塑料大棚增温系统及效果[J]. 农业工程学报,2009,7(25): 164 - 168.
- [10] 于威,王铁良,刘文合,等. 太阳能土壤加温系统在日光温室土壤加温中的应用效果研究[J]. 沈阳农业大学学报,2010,41(2): 190 - 194.
- [11] 李晓野. 温室太阳能空气集热相变蓄热装置设计及性能研究[D]. 杨陵区: 西北农林科技大学,2012.
- [12] 周升. 大跨度主动蓄能型温室太阳能热泵增温试验研究[D]. 北京: 中国农业科学院,2016. **太阳能**

(接第47页)

如果荷载与残余应力叠加超过材料的屈服极限,就会造成残余应力释放而变形。

参考文献

- [1] 国家发展改革委 国家能源局关于印发能源发展“十三五”

规划的通知[EB/OL]. http://www.ndrc.gov.cn/zcfb/zcfbtz/201701/t20170117_835278.html, 2016-12-26.

- [2] 国家能源局关于建设太阳能热发电示范项目的通知[EB/OL]. http://zfxgk.nea.gov.cn/auto87/201609/t20160914_2298.htm, 2016-9-13. **太阳能**