

华北型连栋塑料温室节能对策与实践*

潘 强 黄之栋 马承伟 李以翠
(中国农业大学)

摘 要 华北型连栋塑料温室采用双层充气膜覆盖、移动式内保温幕、地中热交换系统和砖结构北山墙等节能措施。实践表明,北京地区冬季不供暖时室内最低温度达到 8℃ 以上,室内外温差达到 11℃,节能效果显著。

关键词 连栋温室 节能 保温结构/设施

设施园艺是一项耗能产业。据日本测算,每生产 10 kg 黄瓜要消耗 5 L 石油,比粮食生产的耗能量高 50~60 倍^[1]。联合国一年农业生产中的耗能量有 35% 用于温室的加温^[2],能源消耗的费用占温室作物生产总费用的 15%~40%^[1]。70 年代以前,国外的温室生产所用燃料低价、充足,1973 年“石油危机”以来,受燃料供应与价格的影响,全世界设施园艺的发展受到很大的冲击。直至今日,温室节能仍是一项意义重大的研究课题。

1 各国设施园艺与能源战略

设施园艺在西方发达国家发展较早。荷兰是世界著名的设施园艺生产大国,荷兰的玻璃温室占全世界总量的 1/3,且多为连栋温室。其 85% 以上的温室有加温设备,大部分采用天然气加温,温室采暖设施费用占温室总投资的 25% 左右。荷兰温室节能对策是:提高采暖设备效率;降低围护结构热损失;确定最适宜室温;种植耐低温作物。英国 90% 以上的加温玻璃温室依赖石油,其节能对策是:提高加热设备效率;采用自动控制系统;使用保温幕;确定适宜室温;提倡余热利用;不推崇太阳能蓄热。德国温室面积约占蔬菜和花卉种植总面积的 30% 与 70%。以玻璃温室为主,有少量塑料温室,近年来双层玻璃温室数量不断增加,其节能对策是:提高供暖设备效率;采用双层覆盖;设置内保温幕;提高温室利用率。日本 1954 年就开始在农业生产中应用聚氯乙烯(PVC)薄膜,目前塑料温室仍占据主导地位。在能源危机的影响下,日本确立了多层覆盖的塑料温室模式,双层、三层塑料薄膜及保温幕的使用非常普及。日本加温温室总面积的 80% 左右采用热风加温机,燃烧效率高,节能效果较好。其节能对策是:温室变温管理;采用双层保温幕、中空保温侧墙、地中热交换系统。在美国,温室不是节能设施,而被视为培育植物的建筑物。能源危机促使生产者创造出经济有效的双层充气塑料温室,并配置可移动保温幕。

我国温室发展势头迅猛。北方大、中城市郊区从 60 年代末已经初步形成了保护地设施生产体系。70 年代以来,温室(包括塑料大棚)生产面积迅速扩大,从建国初期的不到 2 万 hm² 发

收稿日期:1999-04-20

* 国家“九五”工厂化农业重大科技产业工程项目,北京分项(952500801)

潘 强,博士生,北京市海淀区清华东路 17 号 中国农业大学(东校区)195 信箱,100083



展到今天的 30 万 hm^2 , 已经占全球温室面积的 50% 以上, 成为世界上最大的蔬菜保护地生产区域。其中一半温室采用不加温全透光拱形棚架结构, 用于蔬菜的春提前和秋延后生产。其余采用一面坡温室结构, 用于冬季蔬菜的反季节生产, 是具有中国特色的日光温室。改革开放以来, 我国从荷兰、日本、罗马尼亚等国家引进了不少大型全光温室。这些温室由于投资高、能源消耗太大(据统计, 1 hm^2 加温温室一个冬季约需燃煤 600 $\text{t}^{[3]}$), 在寒冷冬季往往停止生产以降低成本, 难以实现周年生产。

实践证明, 我国温室的节能问题, 仅依赖引进国外先进技术、装备, 不能从根本上解决, 必须充分考虑我国能源短缺、钢材供应紧张的实际情况, 研制开发适合我国国情的温室。1997年, 中国农业大学在集成多项先进、成熟技术的基础上, 自行设计开发了我国第一种智能化高效节能型连栋温室—华北型连栋塑料温室, 该项目在国家科委重大产业工程项目招标中一举中标, 并在我国北方进行了大面积推广, 取得了良好的经济和社会效益。

2 华北型连栋塑料温室节能对策

2.1 双层充气膜覆盖

研究表明, 普通建筑物中通过采光面的传热量约占建筑外围护表面总传热量的 60%。因此, 温室的保温措施主要是针对采光面, 通过减少采光面向外界的对流和辐射散热量达到节能的目的。双层充气薄膜覆盖形式是全光温室中一种有效的保温节能形式(表 1), 在国外塑料温室中得到广泛应用, 美国约有 60% 的商业温室都采用这种覆盖形式。它的优点是保温性好, 但同时减少了光照。

表 1 各种保温覆盖方式的传热系数及节能率(以单层玻璃覆盖温室为对照)

Fig 1 The rate of energy saving and the coefficients of heat transfer under different covering conditions

覆盖方式	覆盖材料	传热系数/ $\text{W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$	节能率/%
室内固定单层覆盖	玻璃	6.2	0
	聚乙烯薄膜	6.6	- 6
室内固定双层覆盖	玻璃+ 聚氯乙烯薄膜	3.7	40
	两层聚乙烯薄膜	4.0	35
	中空丙烯酸类树脂板材	3.5	40
室内单层移动式保温幕	聚乙烯薄膜	4.3	30
	聚氯乙烯薄膜	4.0	35
	无纺布	4.7	25
	混铝或镀铝塑料薄膜	3.7	40
	双层聚乙烯薄膜	3.4	45
室内双层移动式保温幕	聚乙烯薄膜+ 镀铝塑料薄膜	2.2	65
	发泡聚苯乙烯颗粒(厚 10 cm)	0.45	80~ 90
室外覆盖	稻草帘	2.4	60

2.2 活动式内保温幕

活动式内保温幕在室内与透光面之间增加了一层空气层, 有效地减少了温室围护结构散热, 同时还可减少冷风渗透量和辐射散热量。

华北型连栋塑料温室采用可移动式夹铝塑料薄膜保温幕, 有效地减少了地面辐射散热, 降低温室顶部空气温度, 从而达到减少围护结构散热的目的。

2.3 地中热交换系统

地中热交换系统白天用风机将温室顶部的热空气输送到地中埋管, 经由管壁将热量传给

土壤并贮存起来。夜间这部分热量再被释放到室内。该系统在整个冬季生产中可维持较高的室内温度(气温比对照温室高 3~ 7 ,地温高 4~ 8)。

华北型连栋塑料温室选用 PVC 波纹管作为与土壤的热交换管材,采用正反双向送风风机,提高了热交换效率和土壤蓄放热总量。经理论计算,在采暖温室中应用此系统,比普通连栋温室节省燃料 38% 左右。

2.4 蓄热北山墙

日光温室利用后墙(北山墙)蓄热保温,是我国劳动人民独创的节能方法。华北型连栋塑料温室借鉴这一经验,北山墙以砖墙替代透明结构材料,提高了保温、节能性能和整体坚固性。

2.5 双层充气卷帘

华北型连栋塑料温室采用双层充气卷帘,既满足了春秋季节开侧窗进行自然通风的需要,又大大加强了温室围护结构的保温性能。

3 华北型连栋塑料温室节能实践

为证实华北型连栋塑料温室节能策略的有效性,笔者在北京顺义三高农业示范基地进行了实验研究。

3.1 双层充气膜覆盖

双层充气膜屋顶及侧墙保温性能良好,室内热环境均匀、稳定,参见图 1、图 2。

双层覆盖减少了热损失,也减弱了外部气候对温室热环境的影响。测试表明,双层覆盖比单层覆盖温室平均节能约 38%,光照损失 10% 左右。同时,双层覆盖增加了温室的密闭性,室内空气相对湿度较高,使植物蒸腾作用减弱,需加强通风管理。

3.2 地中热交换系统

实验表明,地中热交换系统增温效果显著。不供暖情况下,室外出现最低温度时,室内外温差达到 11

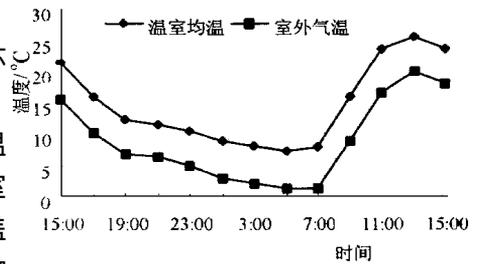


图 1 11 月 1 日~ 2 日温室内外气温

Fig. 1 Temperature condition between inner and outer of the greenhouse in Nov. 1~ 2

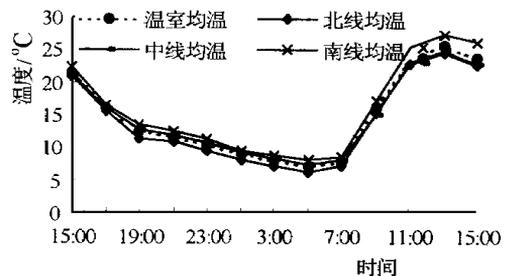
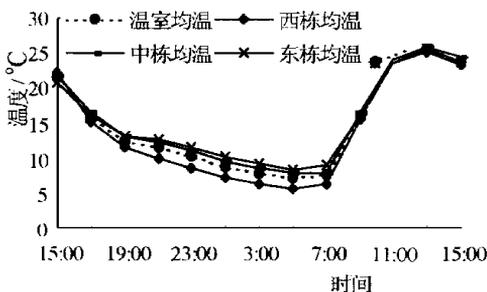


图 2 11 月 1 日~ 2 日温室内平均气温状况

Fig. 2 Temperature condition in greenhouse in Nov. 1~ 2

(详见本期马承伟文)^[4]。

3.3 可移动内保温遮荫幕

在温室中,夜间土壤温度高于地表气温,断面气温呈现上低下高状态,地表空气与水暖散热器加热的空气以浮力羽流形态形成断面上的垂直气流交换。保温幕以良好的密闭性和反辐

射能力形成热阻屏障,将水暖散热器和地表加热的空气限制在保温幕内表面以下,形成幕下空间出现逆温层,温度场在气流场紊动情况下呈现稳定(图 3)。

测试结果表明,华北型连栋塑料温室采用具有非透气性金属表面的可移动内保温遮荫幕,保温性能优越,使夜间地面热辐射损失降至 50% 以上,节能率约 31%。

保温幕存在的问题是:关闭后密实性不严;幕打开后温度突然下降对作物不利;幕下表面的水汽凝结可能对作物造成危害等。另外,内保温幕造价较高,多用于大型温室。

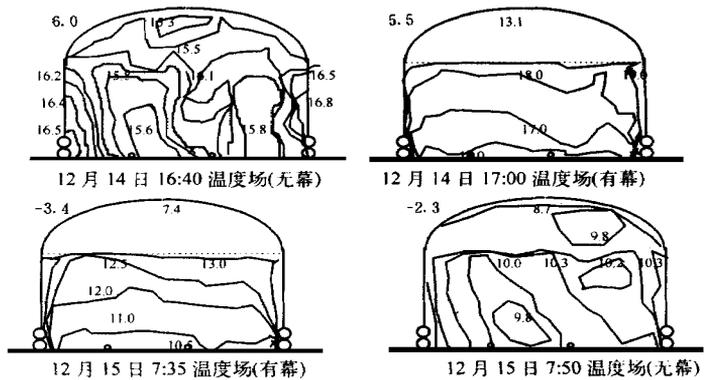


图 3 温室断面温度场状况(单位: $^{\circ}\text{C}$)

Fig 3 Temperature condition in the section of greenhouse (unit: $^{\circ}\text{C}$)

3.4 北山墙

华北型连栋塑料温室借鉴日光温室经验,将北山墙做成蓄热砖墙,大大缓解了温室北侧夜间温度过低的问题(见图 2 北线均温)。

砖结构山墙相对采用透明材料来说,明显减少室内散热。空气基本上是一个供热源,只在中午前后吸收空气的对流传热。在稳定状态下,后墙在夜间向室内空气传热;在温室遭受骤冷环境应激时,后墙在此后第一天可以维持较强的夜间放热作用,并可以维持连续 3 天以上,只是放热强度越来越小。测试表明,370mm 厚砖墙在夜间对室内的平均传热强度达到 $20\sim 30\text{ W}/\text{m}^2$,与薄膜山墙相比,节能率达到 5%~6%。同时,砖结构北山墙刷白后对光线具有较强的反射作用,从而改善了温室北侧地面光环境。测试表明,距离北山墙一个温室跨度处出现室内透光率的峰值,靠近或远离此区域透光率下降。

3.5 双层充气卷帘

华北型连栋塑料温室采用双层充气卷帘,使温室侧墙覆盖表面热阻值大于 $0.27\text{ (m}^2\cdot\text{)}\text{/W}$,同时加强了温室的密闭性,减小冷风渗透对室内环境的影响(见图 2 东栋、西栋均温)。双层充气卷帘与单层膜侧墙相比,侧墙热损失减少约 85%。

4 结 论

- 1) 在双层充气膜覆盖和室内保温幕关闭情况下,全温室覆盖表面的总平均传热系数小于 $3.7\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{)}^{\circ}\text{C}$,冬季温室内气温夜间不低于 $8\sim 15\text{ }^{\circ}\text{C}$,白昼达到 $20\sim 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。
- 2) 地中热交换系统节能效果显著,加热量达到 $30\sim 60\text{ W}/\text{m}^2$ 。
- 3) 在不用燃料加温时,通过温室的双层充气覆盖和室内保温幕保温以及使用地中热交换系统,室内较室外最低气温高 $11\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上。
- 4) 采用具有蓄热作用的砖结构北山墙,缓解了温室北侧夜间温度过低的问题。
- 5) 采用双层充气卷帘,侧墙覆盖表面热阻值大于 $0.27\text{ (m}^2\cdot\text{)}\text{/W}$,保温性能良好。

华北型连栋塑料温室总体技术已接近国外同类温室水平,在单位面积造价、节能以及温室综合性能等方面超过国外同类温室水平,并在许多具体技术上具有中国特色和创新点。标志着我国自行设计的连栋温室取代进口同类产品已成为现实,我国工厂化农业发展提供了设施条

件和技术支持。

参 考 文 献

- 1 邱建军 温室保温覆盖材料传热系数的测定: [学位论文] 北京: 北京农业大学, 1995
- 2 (日)网田益己 温室カーテン用资材の保温力の簡単な比较法 农业气象, 1984, 40(2): 159~ 162
- 3 张真和 高效节能型日光温室的开发进展及问题讨论 中国蔬菜, 1992 (5): 1~ 3, 13
- 4 马承伟, 黄之栋, 穆丽君 连栋温室地中热系统贮热加温的试验 农业工程学报, 1999, 15(2): 160~ 164

Study on the Energy Conservation of Huabei-Type Multispan Plastic Greenhouse and Its Practice

Pan Qiang Huang Zhidong Ma Chengwei Li Yicui

(China Agricultural University, Beijing, 10083)

Abstract Huabei-type multispan plastic greenhouse have some effective energy saving methods. It is double-walled pumping insulation plastic film's roof, thermal screens, earth-pipes heat exchanging system, and energy-storaged gable. The temperature in house is more than 8 in winter, and the temperature difference between the outer and inner of the house is more than 11. The reduction in energy cost of the house is significant.

Key words multispan greenhouse, energy saving, structure/facility for heat preservation