

宁夏 NKWS-III型日光温室设计建造 及冬季温光环境特征

郭文忠, 杨冬艳, 曲继松, 冯海萍, 张丽娟

(宁夏设施农业工程技术研究中心 宁夏 银川 750002)

摘 要: 为优化日光温室结构设计和促进温室大型化发展, 设计建造了宁夏 NKWS-II型日光温室, 并于 2008 年冬季罕见低温条件下运行测试。结果表明: NKWS-II型日光温室具有透光率高, 容积大的特点, 有利于无限生长型蔬菜长季节栽培管理, 在一般天气条件下, 可基本保证茄果类蔬菜度过冬季。但是当冬季室外每日辐射总量低于 7.82 MJ/m^2 、最低温度下降至 -14.7°C 、日平均温度低于 -8.8°C 时, 利用 NKWS-II型日光温室进行茄果类蔬菜越冬生产时需添加增温设备进行加温, 适时做好维护结构的保温措施。

关键词: 宁夏; 大跨度日光温室; 设计制造; 环境测试

中图分类号: S 625.2(243) **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2010)15-0012-04

宁夏地区干旱少雨, 日照充足, 昼夜温差大, 发展设施园艺具有得天独厚的资源优势。近年来, 设施园艺产业发展迅速, 已达到 5.6 万 hm^2 , 其中日光温室面积 2.73 万 hm^2 , 自治区已将设施农业产业列入农业五大主导产业之一。良好的设施结构是保障设施农业顺利发展的关键, 目前宁夏的主流日光温室结构是二代节能日光温室, 基本框架为脊高 $3\sim 3.8 \text{ m}$, 净跨度 $7\sim 8 \text{ m}$, 墙体大部分是夯实土墙, 底部宽 $1.5\sim 2 \text{ m}$, 顶部宽 $0.8\sim 1 \text{ m}$ 。这类温室在生产中存在一定的缺点, 如高度较低, 对于长季节越冬生产的茄果类蔬菜必须放蔓栽培, 既推迟了生育期, 又有损伤植株的风险, 温室容积较小, 温室内环境条件的缓冲能力有限, 容易造成极端高温和高湿环境的出现, 为使温室内温、光、水、气环境得以优化, 有利于日光温室内作物生长发育, 温室有向大型化发展的趋势^[1-3], 国内出现如辽沈 I 型(跨度 12 m)、新型寿光日光温室(跨度超过 20 m)等^[4]。宋明军根据甘肃省河西地区自然与气候条件, 设计建造了一种 10 m 跨度的西北型日光温室, 取得了很好的应用效果^[5]。因此, 为适应宁夏地区设施农业快速发展的需要, 优化现有结构类型, 设计建造了 NKWS-II型日光温室, 并于 2008 年 1 月进行了温室内温光环境测试, 探明大型化温室冬季室内

气候特征, 为宁夏日光温室结构优化设计及科学种植提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 温室建造所在地区气候特点

宁夏银川市地处内陆, 属温带大陆性半干旱气候, 年均降水量 260 mm , 年蒸发量 $2\,018 \text{ mm}$, 平均温度 9.4°C 。四季分明, 日照充足, 昼夜温差大, 全年日照 $2\,955 \text{ h}$, 无霜期 163 d 。银川的地理纬度是 $38^\circ 25'$, 冬至时的赤纬是 $-23^\circ 66'$ 。冬至日太阳高度角是 $28^\circ 09'$ 。

1.2 NKWS-II型日光温室建造技术参数

NKWS-II型日光温室, 总跨度 12 m , 净跨度 10 m , 脊高 5 m , 长 80 m 。后墙为夯实土墙, 墙高 3 m , 梯形, 底部宽 2.5 m , 顶部宽 1 m , 后屋面仰度 55° , 在后屋面钢架上先用 5 cm 厚, 宽 $25\sim 30 \text{ cm}$, 长 2 m 的竹夹板铺平, 然后上铺 2 层油毛毡, 在后墙圈梁北侧用 24 cm 砖砌护高 1.5 m 的女儿墙。填充炉渣, 最后覆盖油毛毡, 保持顶屋面坡度 $5^\circ\sim 10^\circ$, 用水泥抹平, 并每隔 10 m , 安装 1 个排水槽。温室前部底角为 $58^\circ\sim 60^\circ$, 拱面和水平线的角度距离温室前沿 2 m 处为 $38^\circ\sim 40^\circ$, 4 m 处 $25^\circ\sim 28^\circ$, 6 m 处 $12^\circ\sim 14^\circ$, 8 m 处 $3^\circ\sim 5^\circ$ 。

1.3 观测点位置布置及观测项目

NKWS-II型日光温室温度观测点布置: 在温室中部距离南部前沿 1 m 处(温室南部)测量 $0.1, 2 \text{ m}$ 的温度; 距离南部前沿 5 m 处(温室中部)测量地下 $5, 15, 25 \text{ cm}$ 、地上 $0.1, 2 \text{ m}$ 的温度; 距离南部前沿 9 m 处(温室北部)测量 $0.1, 2, 3, 4 \text{ m}$ 的温度, 采用 T 型热电偶测量。室内空气温湿度、光合有效辐射传感器位于温室中部距离南部前沿 5 m 处地上 2 m 位置, 室外温湿度、光合有效辐

第一作者简介: 郭文忠(1970-), 男, 宁夏中卫人, 博士, 研究员, 现主要从事设施蔬菜栽培生理和设施园艺工程技术研究工作。
E-mail: guowenzh70@163.com.

基金项目: 国家科技支撑计划资助项目(2007BAD57B01); 宁夏回族自治区科技攻关资助项目(KGZ-170706)。

收稿日期: 2010-04-20

射传感器在以温室前沿为轴心对应位置上, 以上所有传感器都接到数据采集器 (campbell CR1000) 中进行采集、存储。数据采集频率为 3 次/s、10 min 存储。所有探头均采用防辐射处理。测试时间 2008 年 1 月 5 日~2 月 28 日。冬季温室早晨揭苫的时间 9: 00, 下午 16: 30 放苫。放风时间 11: 30~14: 00, 根据天气情况略有调整。

升温速率=最高温(14: 00)-揭苫时温度(9: 30)/4. 5h; 降温速率=最高温(14: 00)-最低温度(次日 8: 30)/18. 5h; 4. 5 h 是升温时间, 指白天 9: 30 到 14: 00; 18. 5 h 是降温时间, 指下午 14: 00 到次日 8: 30。

日均温 = $\sum T_i / 24h$, T_i -0: 00 时温度, T_j -24: 00 时温度。

平均最低温度 = $\sum T_n / 53$, 2008 年: T_m 为 1 月 5 日的最低温度, T_n 为 2 月 28 日的最低温度, 53 是 1 月 5 日到 2 月 28 日期间, 共计 53 d。

2 结果与分析

2.1 极端低温天气条件下 NKWS-II 型日光温室光照环境

由图 1 可知, 2008 年 1 月 17 日晴天室外 PAR 最高可达 337 W/m², 全天累计 1 784. 8 W/m², 温室内 PAR 最高 287. 9 W/m², 全天光照时数 7 h, 累计光合有效辐射 1 229. 25 W/m², 温室日平均透光率为 68. 9%, 最高时透光率在 14 时可达 85. 4%; 1 月 18 日阴天室外 PAR 最高 194. 2 W/m², 室内最高为 125. 9 W/m², 全天室外累计辐射量为 1 059. 44 W/m², 室内累计辐射量为 587. 15 W/m², 日平均透光量 55. 42%, 14 时光合有效辐射最高时透光率为 64. 8%。

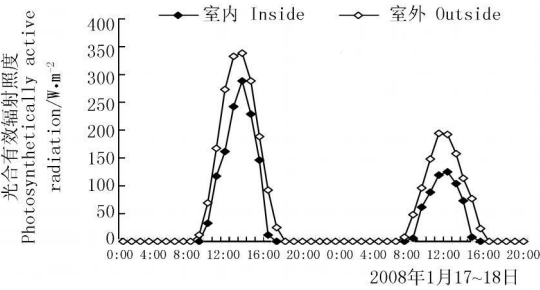


图 1 NKWS-II 型温室内外光合有效辐射日变化特征
Fig. 1 The photosynthetically active radiation daily variation characteristics inside and outside NKWS-III type solar greenhouse

2.2 极端低温天气条件下 NKWS-II 型日光温室内外空气温度、湿度日变化特征

进入 2008 年后, 大雪天气连续不止, 1 月 13~16 日均是大雪纷纷, 室外温度急剧下降, 在 2008 年 1 月 17 日放晴, 图 2 可见, 温室内最低气温出现在揭苫前为 1. 72℃, 揭苫后 (10: 00), 温度迅速上升, 从 2. 24℃ 上升至 14: 00 的 24. 64℃, 上升速率为 5. 09℃/h, 从下午 15 时后空气温度开始逐步下降, 到 23 时降至 7. 24℃, 次日凌晨为 8 时为 4. 41℃ 下降速率 1. 09℃/h, 室内外空气温度日平均温差为 21. 73℃, 接下来的 1 月 18 日由于夜间下雪, 所以室外湿度达到 100%, 同时夜间温度保持在零下 13℃ 以上, 揭苫前室内最低温度为 4. 29℃, 较前一天高, 这是由于 17 日以前连续的阴天, 蓄热很少, 但由于 18 日白天光照较弱, 因此温度上升缓慢, 到 14 时只有 10. 16℃, 上升速率 1. 31℃/h, 温度也是从 15 时开始下降, 下降速率为 0. 53℃/h, 室内外温差只有 16. 81℃。

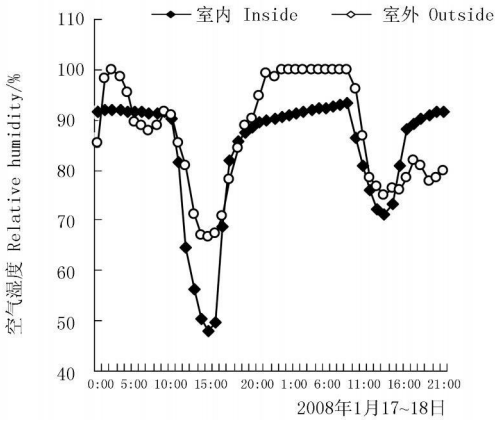
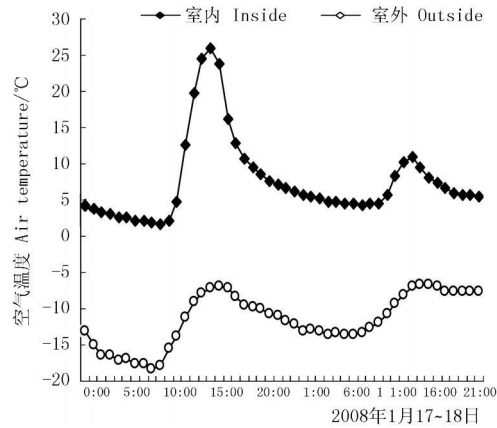


图 2 NKWS-II 型温室内外空气温、湿度日变化特征

Fig. 2 The air temperature, humidity daily variation characteristics inside and outside NKWS-III type solar greenhouse

2.3 NKWS-II 型日光温室剖面温度分布特点

2.3.1 NKWS-II 型日光温室垂直温度分布特点 由图

3 可看出, NKWS-II 型日光温室室内不同垂直高度的温度差异较大, 土壤温度在夜间高于地上温度, 白天则低于

地上温度, 25 cm 土壤温度 1 d 的变化幅度最小, 全天在 9~13℃ 范围内波动。揭苫 (10:00) 后, 温度上升最快的是地上 2 m 的温度, 并在 15:00 时达到最高为 22.14℃, 在放苫后 17:00 后下降; 3 m 的温度较 2 m 温度升温稍晚, 在 14:00 时升至最高为 20.74℃, 随后即下降; 地上 1 m 与地表的温度稍后同步升高, 也在 13 时升至最高

17.89℃。夜间空气温度受室外低温 (最低 -15.85℃) 的影响, 均在 1.98~2.85℃ 的范围内, 地表温度略高。15 cm 土层温度较高保持在 8℃ 左右, 5 cm 土层则在 7℃ 左右。说明白天土壤温度上升较空气温度滞后, 而且上升幅度也小于空气温度, 随着土壤深度的增加, 温度升高的越慢。

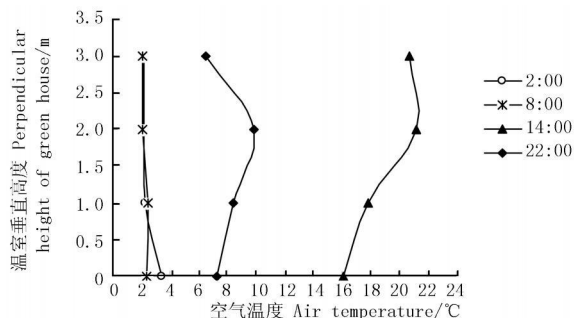


图3 NKWS-III型日光温室室内垂直温度特征(2008年1月28日)

Fig.3 The vertical temperature daily variation characteristics inside NKWS-III type solar greenhouse

2.3.2 NKWS-III型日光温室室内水平温度分布特点 温室水平温度分析观测点为南北纵向布置, 选取温室垂直高度 2 m 处温度分析, 由图 4 可看出, 夜间温度温室中部最高, 北部温度次之, 南部温度最低; 中午 14 时, 温室内纵向温度由南向北是由高到低的趋势, 靠近北墙的位置温度最低, 随着下午室外温度光照的逐渐下降, 到晚上 10 时, 温室中部温度最低, 而北部温度最高, 但南北差异不显著, 说明温室温度白天受光照的分布及后墙的蓄热影响, 南北温度差异较大, 而在夜间, 由于前屋面的散热, 南部温度降低。

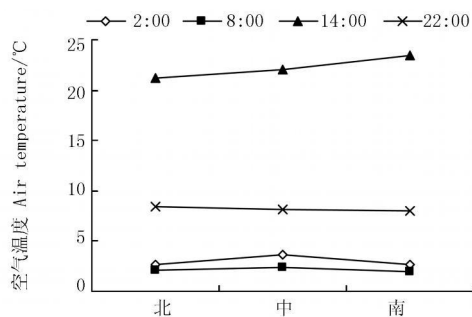


图4 NKWS-III型日光温室水平温度特征(2008年1月28日)

Fig.4 The horizontal temperature characteristics inside NKWS-III type solar greenhouse

2.4 极端低温条件下 NKWS-III型日光温室室内外最低温度动态变化特征

2007~2008 年冬季温度是宁夏地区 20 a 来出现的最低温度, 连续的雪天较多, 由图 5 可看出, 从 1 月 5~10 日, 室外最低温度在 -10℃ 左右, 这个时期 NKWS-III 温

室室内最低温度保持在 6.2℃ 以上, 在 1 月 15 日~2 月 14 日期间, 室外最低温度平均 -18.22℃, 日平均温度在 -12.48℃, 因此, 温室内最低温度降到 5℃ 以下, 期间平均最低温度 2.31℃, 2 月 14 日以后天气开始回暖, 室外温度逐渐升高, 室内最低温度也升至 5℃ 以上。NKWS-III 温室室内与室外最高温度 2 个月平均温差为 28.41℃, 最低温度平均温差为 19.05℃。

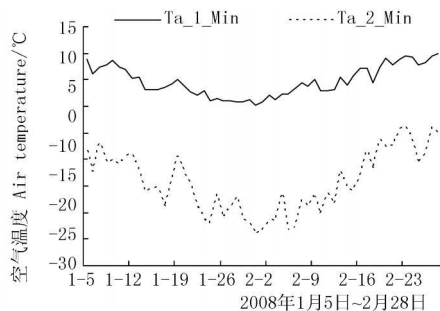


图5 2008 年冬季 NKWS-III 型日光温室室内外最低温度

Fig.5 The lowest temperature inside and outside NKWS-III type solar greenhouse in 2008 winter

注: Ta-1_Min: 温室室内 1 d 中最低的温度 Ta-2_Min: 室外 1 d 中最低温度。

3 讨论与结论

2007~2008 年冬季是温室建成后就遇到的近年来罕见的低温, 测试结果表明, NKWS-III 型日光温室只有在 2008 年 1 月 13 日~2008 年 2 月 14 日期间温室内最低温度低于 5℃, 而在此期间, 一直是暴雪连阴天, 室外温度日均温在 -11℃ 左右, 因此, 在如此罕见的冬季

低温下, 如进行越冬栽培的话, 需启用加温 1 个月。

通过对温室室内最低温度变量(Y)、与室外每日累计光合有效辐射量(X_1)、室外最低温(X_2)、室外平均温度(X_3)的 2 个月的数据进行回归分析, 结果发现, Y 与 X_2 、 X_3 显著相关($R^2=0.8909$ 、 $R^3=0.777$), 回归方程 $Y=10.26+0.081X_1+0.399X_2+0.078X_3$ 。当每日辐射总量为 7.82 MJ/m^2 、最低温度为 -14.66°C 、日平均温度为 -8.79°C 时, 温室内最低温度预测值是 4.38°C , 因此变量取值可作为温室加温室外环境温度临界指标。

从温室不同垂直高度以及南北不同水平位置的温度监测中发现: 土壤温度变化幅度小, 受空气温度的影响随深度的增加而减小, 25 cm 处土壤温度 1 d 内变化幅度只有 4°C , 白天土壤温度上升较空气温度滞后, 温度低于空气温度, 但夜间降幅较小, 温度高于空气温度; 就温室空气温度垂直分布特点来看, 白天 2 m 处与 3 m 处温度基本相同, 高于 1 m 以下空气温度, 因此, 可利用 NKWS-II 型日光温室空间较大的优势, 让植株长至 3 m

后再做株型调整。

测试发现, 温室增加空间后, 温室采光面积增加, 进光量显著增加, 虽有利于无限生长型蔬菜长季节栽培管理, 但由于温室采光面是温室的主要散热源, 因此, 在进行越冬生产时, 如遇到极低温度, 需启用加温设备进行加温, 并对夜间保温措施提出严格要求。

参考文献

[1] 张志斌. 我国设施园艺发展的思考与建议[J]. 华中农业大学学报 2004(增): 5-8.
[2] 张福墁. 农业现代化与我国设施园艺工程[J]. 农业工程学报 2002(增): 1-3.
[3] 张福墁. 设施园艺学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2001.
[4] 刘建, 周长吉. 日光温室结构优化的研究进展与发展方向[J]. 内蒙古农业大学学报 2007(3): 264-268.
[5] 宋明军, 赵鹏. 西北 XB-GV 型大跨度日光温室设计建造及实践[J]. 农业工程技术·温室园艺, 2006(7): 16-18.
[6] 吴毅明, 徐师华. 温室塑料棚环境管理[M]. 北京: 农业出版社, 1990.

Ningxia NKWS- III Solar Greenhouse Design-building and Temperature and Light Environmental Characteristics in Winter

GUO Wen-zhong, YANG Dong-yan, QU Ji-song, FENG Hai-ping, ZHANG Li-juan
(Ningxia Engineering Research Center for Facilities Agriculture, Yinchuan Ningxia 750002)

Abstract: In order to optimize structure design and promote maximization development of solar greenhouse, the Ningxia NKWS- III solar greenhouse was designed, built and tested under rare low temperature condition in 2008 winter. The results showed that NKWS- III solar greenhouse had feature of high transmittance and big volume which was helpful to administration of infinite growth-type vegetable under long seasonal cultivation. In the general weather conditions, this type solar greenhouse can basic ensure eggplant vegetable to get through winter. But it needed to taking well insulation measures and adding warming equipment when encountered limit low temperature condition. The results of statistical analysis indicated that could seen as outside environment critical exponent for warming of Ningxia NKWS- III solar greenhouse when the daily total radiation was 7.82 MJ/m^2 , the lowest temperature was -14.66°C , daily average temperature was -8.79°C .

Key words: Ningxia; large span solar greenhouse environment test; design; environmental test