

## 日光温室后屋面内设反光幕环境效应分析

韦 峰,江 力,张亚红

(宁夏大学,宁夏 银川 750021)

**摘要:**为研究日光温室后屋面内设反光幕对室内环境和植株的影响,在秋冬季节测定了反光幕对日光温室室内光强、温度、湿度和植株株高、茎粗的影响。结果表明:后屋面张挂反光幕有补光效果,室内光照强度平均增加7%~14%,可缓解温室内南北方向光分布不均,室内温度增加1.8~7.2℃;同时温室内植株茎粗平均提高1 mm,且改善了室内植株南北高度不均的问题。因此,冬季在温室后屋面张挂反光幕,既可以补光又不影响后墙正常蓄热保证室内温度。

**关键词:**日光温室;反光幕;环境

**中图分类号:**S625.1

**文献标识码:**A

**文章编号:**1002-2767(2014)08-0071-07

传统节能日光温室主要由围护墙体、后屋面和前屋面三部分组成,前屋面是温室的全部采光面,一般情况下应尽量加大前屋面采光面面积并采取合理的采光角度,以期获得最大的太阳辐射;夜间一般采用保温被覆盖,或在内部设置二道幕加强温室的保温<sup>[1]</sup>。受日光温室采光面的限制,前屋面改变的空间很小,因而日光温室保温设计,

在加强温室前屋面保温设计的基础上,加强和改进围护墙体及后屋面的保温性能至关重要<sup>[2]</sup>。反光幕的补光作用在温室生产过程中起到了重要的作用,但若单一地在后墙张挂反光幕则会影响墙体的保温性能,因此研究如何张挂反光幕而不影响墙体保温性能对日光温室环境管理具有重要意义。

目前有关后屋面及温室墙体的研究有很多,多数研究主要针对其保温性能的优化,白义奎等<sup>[3]</sup>对几种常用单一材料墙体及复合墙体的保温性能进行分析,结果表明,多层异质复合墙体具有热阻大、蓄热、隔热及保温性能好的优点,在实际生产中得到了广泛的应用,但存在自重大、造价高、受周围环境尤其是湿度的影响较大等缺点。李小芳<sup>[4]</sup>对日光温室后屋面不同材料石灰浆、苯

收稿日期:2014-04-28

基金项目:国家级大学生创新训练计划资助项目(131074909)

第一作者简介:韦峰(1990-),男,内蒙古自治区鄂尔多斯市人,在读硕士,从事设施园艺环境研究。E-mail:407488654@qq.com。

通讯作者:张亚红(1965-),女,宁夏回族自治区平罗县人,博士,教授,博士生导师,从事设施园艺环境研究。E-mail:zhy-hcau@sina.com。

## Research on the Pathogenicity of *Staphylococcus* sp. from Fish to *Carassius auratus* and *Brachydanio rerio*

GE Li-ting, LIU Qing, WANG Yi-fan, LI Ya-nan, YAN Xu-feng, KANG Lin, ZHAO Heng-shou  
(Key Lab of Ecological Animal Husbandry and Environmental Veterinary Medicine of Shanxi Province, Shanxi Agricultural University, Taigu, Shanxi 030801)

**Abstract:** For further study on the diseases of aquatic animals caused *Staphylococcus* sp., the pathogenicity of *Staphylococcus* sp. which isolated from the kidney of dying *Cichlasoma* var. to *Carassius auratus* and *Brachydanio rerio* were studied. The results indicated that the *Staphylococcus* sp. strain was pathogenic to both *Cichlasoma* var. and *Brachydanio rerio* but not strong, it could cause similar symptoms. The mortality rate of *Carassius auratus* was significantly higher than *Brachydanio rerio* with the same concentration of the *Staphylococcus*. The median lethal concentration of *Staphylococcus* sp. to *Brachydanio rerio* and *Carassius auratus* at 96 h were  $4.653 \times 10^{11}$  and  $1.834 \times 10^{10}$  cfu  $\cdot$  mL<sup>-1</sup> respectively when the environment water temperature was 24℃.

**Key words:** *Staphylococcus* sp.; *Carassius auratus*; *Brachydanio rerio*; pathogenicity, LC<sub>50</sub>

板和石棉瓦等的传热情况和表面温度情况进行了分析研究,认为苯板适于作为后屋面材料,过度增加材料的厚度并不能起到保温作用。须辉等<sup>[5]</sup>对辽沈 I 型日光温室各个面的散热量进行了比较,结果表明,各部分散热量前屋面>后屋面>墙体>地面,其中后屋面的散热占 27% 左右,而且还指出后屋面的内表面全天都在向室外传递热量,而外表面仅有 4 h 向室内传递热量,其余时间都向室外散失热量。白义奎等<sup>[6]</sup>对辽沈 I 型日光温室环境及保温性能进行了研究,结果表明其为后坡平均蓄热  $3.45 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ;夜间向室内释放的热量较小,仅为  $0.07 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ;后坡的热损失较大,平均  $2.04 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 。车忠仕等<sup>[7]</sup>通过对沈阳大跨度日光温室后屋面热流量研究认为,后屋面全天都处在吸热状态。根据李小芳<sup>[8]</sup>研究也得出相同结论,即后屋面的平均温度仅比前屋面高。目前后屋面在温室结构中的主要功能为隔热保温的作用,蓄热能力有限,一天多数时间都在散热。

对于张挂反光幕的研究,王冰亚<sup>[9]</sup>通过在日光温室利用聚酯镀膜反光幕技术,使西红柿生长期光照强度最大提高 65%;日平均气温提高  $2 \sim 4^{\circ}\text{C}$ ,日最低气温提高  $1.1^{\circ}\text{C}$ 。蔡德存等<sup>[10]</sup>研究表明,反光幕用于架床时,床面光照强度可提高 20% 以上,白天 5 cm 地温上升  $1 \sim 2^{\circ}\text{C}$ 。吴继忠研究表明<sup>[11]</sup>,悬挂反光幕能有效地增加光照强度,提高地、气温度,降低湿度,增加茎粗,促进植株健壮,减少病害,大幅度提高温室中后部黄瓜的产量和品质。陈白凤<sup>[12]</sup>研究表明,反光幕的增光有效范围一般是距离反光幕 3 m 以内,地面增光率为  $9.2\% \sim 40.4\%$ ,60 cm 空中增光率为  $7.9\% \sim 43.0\%$ ,地温、气温一般均提高  $2^{\circ}\text{C}$  左右。王静<sup>[13]</sup>研究表明在温室后墙上张挂反光幕以补充温室内后墙附近光照强度,可以缩小温室内南北方向上光照强度的差异,有效地改善温室内整体光环境,提高作物产量。张利华<sup>[14]</sup>根据太阳视运动方程,计算了反射光在床面上的落点,推算出全国各主要纬带越冬种植和秋延后种植最适的反光幕张挂角度。这些研究都是基于日光温室后墙张挂反光幕环境效益分析,张挂位置均为温室墙体。

后屋面的主要功能为隔热,其蓄热能力有限,而墙体则为温室的主要蓄热载体,在后墙张挂反光幕虽可以起到补光的作用,但对于墙体的蓄热有很大影响。该试验在后屋面张挂可调反光幕,

研究其对温室内环境和植株的影响,以期为反光幕的张挂研究和日光温室环境科学管理提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

供试仪器设备有室内环境监测仪器(温室娃娃),由国家农业信息化工程技术研究中心制造;DT1301 型照度计,由香港 CEM 公司生产;ZDR-11 型温湿度记录仪,由杭州泽大仪器有限公司生产。

### 1.2 方法

1.2.1 试验设计 试验于 2012 年 10 月~2013 年 3 月进行。试验共设 2 个处理,处理 1:温室后屋面用可调装置张挂反光幕(RF);处理 2:温室不作任何处理(CK)。试验的 2 栋温室均位于宁夏贺兰园艺产业园( $\text{N}38^{\circ}$ ,  $\text{E}106^{\circ}$ )。2 栋温室均座北朝南,东西延长。温室跨度 8 m,长度 80 m,脊高 4 m,后墙高度 2.4 m,骨架为钢架结构。墙体为土质墙体外加 24 砖墙,厚度 2.8 m。温室前屋面采用 EVA-I 型长寿无滴膜,夜间前屋面覆保温被保温,采用电动卷帘机。温室内于 2012 年 10 月定植小乳瓜。装置安放及环境监测仪器布局详见图 1。

1.2.2 后屋面张挂反光幕装置角度理论计算 研究对象为传统的三面环墙一面透光的日光温室,依据太阳直射光经反光幕反射后在墙体面上的落点,要保证在整个月份的反射光线全部落在温室的北部,后屋面张挂的反光幕必须满足公式: $A = 45^{\circ} + 1/2 h$

式中, A 为反光幕张挂角度; h 为当日上午 10:00 的最小太阳高度角。当日上午 10:00 的最小太阳高度角计算方式可参考刘江等主编的《气象学》。

$$\sin h = \sin \Phi \cdot \sin \delta + \cos \Phi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega$$

式中, h 为任意时刻的太阳高度角,  $\Phi$  为纬度,  $\delta$  为赤纬,  $\omega$  为真太阳时角,正午为零,上午为负,下午为正。  $\delta$  赤纬:  $\sin \delta = 0.39795 \cos [0.98563(\text{N}-173)]$ 。式中, N 为日数,自 1 月 1 日开始计算。例如:1 月 20 号为 20;2 月 2 日为 33。还可在表中直接查出  $\omega$  真太阳时角:看北京时间(手表),然后转化为地方时间,地方时间最后转化成度  $\omega$  (1 h 为  $15^{\circ}$ ),北京时间和地方时间的转化:  $t_{\text{北}} = t_{\text{地}} - (\text{E 经度} - 120^{\circ})/15$ 。

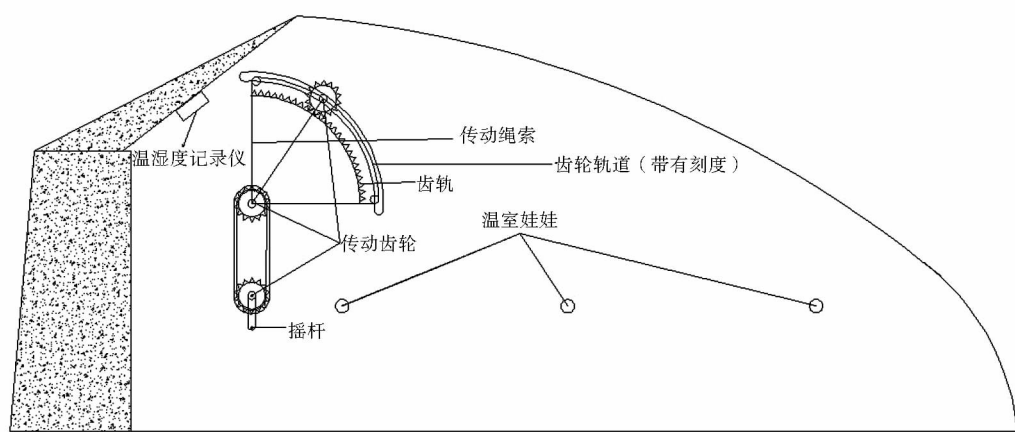


图1 装置安装及环境监测仪器布局

Fig. 1 The equipment and distribution of instruments

1.2.3 测定项目与方法 (1)常规观测。在温室中部对应的后屋面安装温湿度记录仪,测量后屋面表面温湿度;利用温室内的环境监测仪器(温室娃娃)监测室内光照强度(GZ)、室内空气温度(WT)、室内空气湿度(ST)和土壤温度(TW)。温室娃娃按一定距离分布在温室的南(S)、北(N)、中(M)3个部分,数据均为10 min自动记录1次。(2)加密观测。在10:00~16:00分别在2个处理内每隔1 h测定水平和垂直方向光照强度,每测点在正点前后采用往返2次观测,取平均值。水平方向距后墙1、2、3、4、5、6和7 m处(即由北向南)测定;垂直方向离地0.6、1.2、1.8、2.4和3.0 m处测定。

白天与夜间以接放苦时间为界限。数据采用SPSS数据统计软件和Excel软件分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同处理对室内环境的影响

#### 2.1.1 水平和垂直方向光照强度加密观测变化

由图2可见,2栋温室室内光照强度都是由北向南逐步升高,由低向高也是逐渐增加。在水平方向,RF温室平均光照强度(22 741.4 lx)高于CK温室平均光照强度(19 959.8 lx),光照强度提高14%;垂直方向光照强度底部和上部差异不大,离地1.8~2.4 m光照强度差异明显,可见反光幕在垂直方向的主要补光范围为1.8~2.4 m。整体为RF温室平均光照强度(22 683.71 lx)高于CK温室的平均光照强度(21 206.3 lx),光照强度提高7%;说明后屋面张挂反光幕可以提高室内光照强度,且水平方向补光效果优于垂直方向。

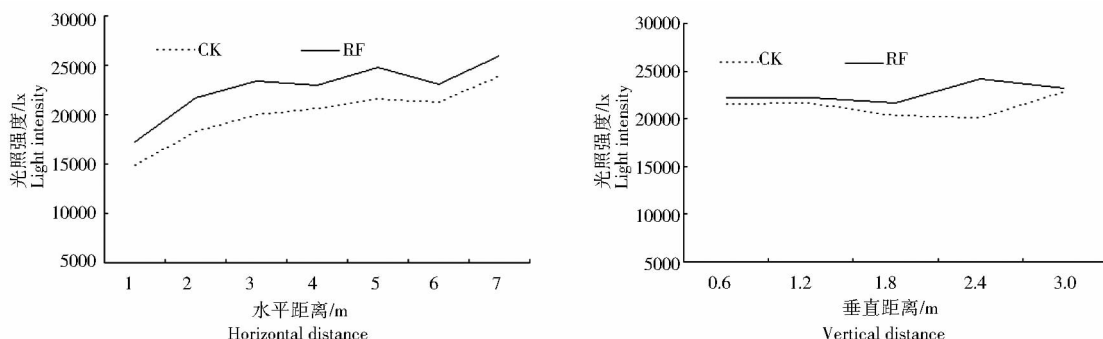


图2 10:00不同处理水平及垂直方向光照强度

Fig. 2 The light intensity of different treatments in horizontal and vertical direction at 10:00

2.1.2 不同处理光照日变化 图3为白天RF温室和CK温室内南部与北部光照强度的日变化对比,由此可以看出,室内光照强度的变化趋势为先升高后降低,其中RF温室在中午11:40达到

最大光照强度,CK温室在13:35达到最大光照强度,其中RF温室的南部光照强度( $1.55 \times 10^4$  lx)高于北部光照强度( $1.47 \times 10^4$  lx)5%,CK温室的南部光照强度( $2.19 \times 10^4$  lx)高于北部平

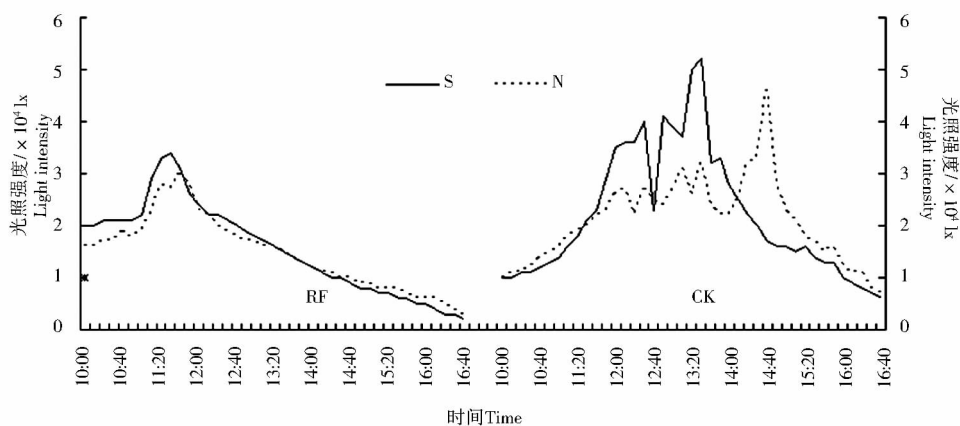


图3 不同处理水平方向光照日变化

调查时间为2013-12-29,晴天,10:00接苫,16:40闭帘

Fig. 3 The daily variation of light intensity of different treatments in horizontal direction

Date: December 29th, 2013, Sunny, after shan at 10:00, lay down curtain at 16:40

均光照强度( $2.07 \times 10^4 \text{ lx}$ )6%,且CK温室光照强度在11:30~14:30这个时段南北光照差异最明显,而RF温室的南北部光照强度差异则小于CK温室的南北部光照强度差异;由此可以得出,后屋面张挂反光幕可减少室内南北部光照的差异性。

2.1.3 不同处理光照季节变化 图4为白天10:00 RF温室和CK温室内南部与北部光照强度的11月~翌年1月的变化对比,由此可以看

出,RF温室的南部光照强度( $3.49 \times 10^4 \text{ lx}$ )比北部光照强度( $2.68 \times 10^4 \text{ lx}$ )高30.22%,CK温室的南部光照强度( $3.84 \times 10^4 \text{ lx}$ )比北部光照强度( $2.18 \times 10^4 \text{ lx}$ )高76.15%,RF温室的南北部光照强度差异小于CK温室的南北部光照差异,RF温室的北部光强高于CK温室北部光强22.94%;说明反光幕可以减少温室南北部光照强度的差异。

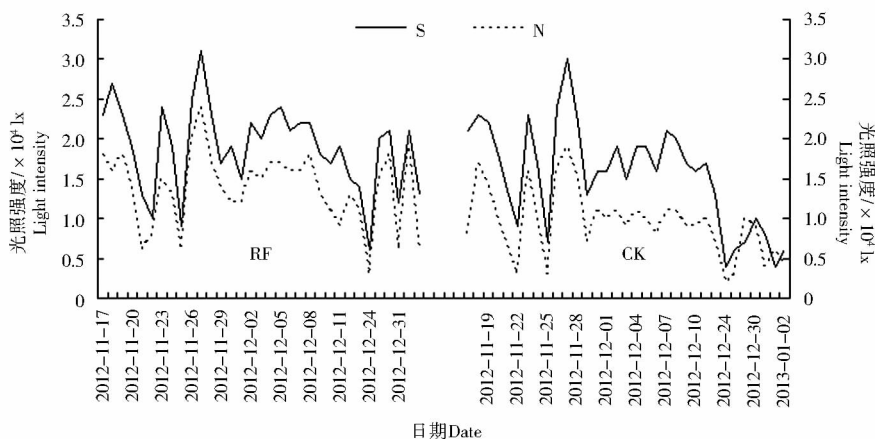


图4 白天10:00不同处理水平光照季节变化

Fig. 4 The seasonal variation of light intensity in horizontal direction at 10:00

## 2.2 不同处理对温湿度的影响

2.2.1 不同处理对室内温度和湿度的影响 由图5可知,晴天2栋温室内的温湿度成一定相关性;温度方面,在接苫后室内温度均逐步升高,白天14:40左右达到最高值,随后逐步下降。RF

温室白天平均气温( $16.5^\circ\text{C}$ )高于CK温室白天平均气温( $9.3^\circ\text{C}$ ) $7.2^\circ\text{C}$ 。夜间,RF温室平均气温( $5.2^\circ\text{C}$ )高于CK温室平均气温( $3.4^\circ\text{C}$ ) $1.8^\circ\text{C}$ ;湿度方面,随着温度的变化而变化。白天RF温室白天平均湿度( $70.5\%$ )高于CK温室白天平均

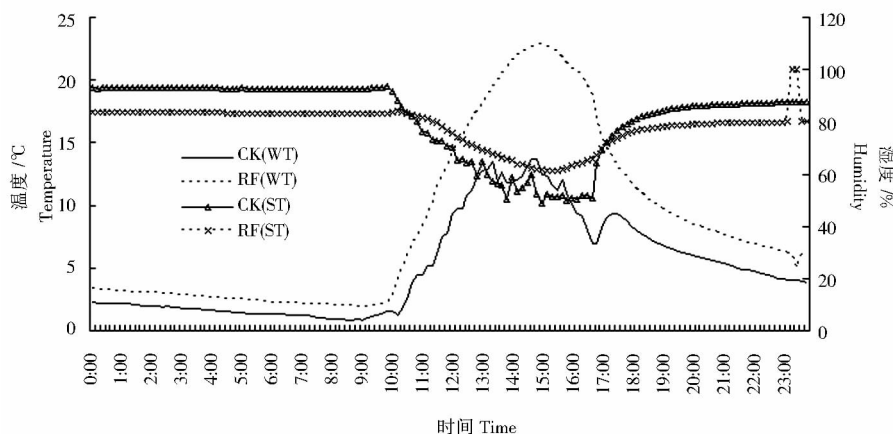


图 5 室内温湿度日变化

调查时间为 2013-12-29,晴天,10:00 接苫,16:40 闭帘

Fig. 5 The daily variation of indoor temperature and humidity

Date: December 29th, 2013, Sunny, after shan at 10:00, lay down curtain at 16:40

湿度(63.0%)7.5个百分点。夜间,CK 温室平均湿度(89.1%)高于 RF 温室平均湿度(81.5%)7.6个百分点;由此可以得出后屋面张挂反光幕无论白天或夜间均可提高室内温度。在湿度方面白天可以增加湿度,夜间则为降低湿度。

2.2.2 后屋面表面温湿度 由图 6 可知,温度方面,与室内温室趋势一样,在接苫后室内温度均逐步升高,白天 14:40 左右达到最高值,随后逐步下降。RF 温室后屋面表面平均气温(19.9℃)高于 CK 温室后屋面表面白天平均气温(18.8℃)

1.1℃。夜间,RF 温室后屋面表面平均气温(14.4℃)高于 CK 温室后屋面表面平均气温(13.6℃)0.8℃。湿度方面,RF 温室后屋面表面白天平均湿度(47.2%)高于 CK 温室后屋面表面白天平均湿度(41.1%)6.1个百分点。夜间,RF 温室后屋面表面平均湿度(76.9%)高于 CK 温室后屋面表面白天平均湿度(71.0%)5.9个百分点;说明无论白天或夜间后屋面张挂反光幕均可提高后屋面的温度及湿度。

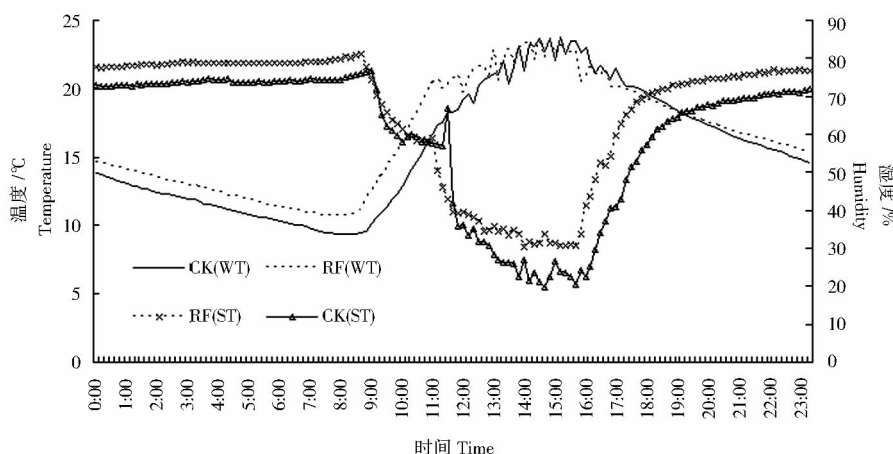


图 6 后屋面表面温湿度日变化

调查时间为 2014-02-20,晴天,8:40 接苫,17:30 闭帘

Fig. 6 The daily variation of temperature and humidity of back-roof surface

Date: February 20th, 2014, Sunny, after shan at 8:40, lay down curtain at 17:30

### 2.3 环境因子统计分析

由表 1 可知,RF 温室光照强度与 CK 温室光

照强度无论在水平方向还是垂直方向均存在极显著差异,说明反光幕能显著提高室内水平方向和

垂直方向光照强度。RF 温室与 CK 温室室内及后屋面温度和湿度均存在极显著差异,说明张挂反光幕可以提高室内温度和降低室内湿度。

表 1 不同处理下室内环境统计分析

Table 1 The statistical analysis on indoor environment of different treatments

处理 Treatments	光照强度(晴天)/lx Light intensity(Sunny day)		室内(晴天) Indoor(Sunny day)		后屋面(晴天) Back-roof(Sunny day)	
	水平	垂直	温度/℃	湿度/%	温度/℃	湿度/%
	Level	Plumb	Temperature	Humidity	Temperature	Humidity
RF	23781±1049.9 aA	22013±432.8 aA	8.3±0.6 aA	77.7±0.6 bB	16.3±0.3 aA	65.3±1.5 aA
DK	20154±1103.9 bB	20152±501.3 bB	5.0±0.3 bB	79.5±1.2 aA	15.9±0.4 bB	59.2±1.6 bB

注:同列中不同大、小写字母分别表示在 0.01 和 0.05 水平差异显著性。

Note: Different capital letters and lowercases mean significant difference at 0.01 and 0.05 level.

## 2.4 不同处理对植株生长指标的影响

2.4.1 对植株株高的影响 由图 7 可以看出, RF 温室的南部平均株高(42.7 cm)高于北部平均株高(38.7 cm)4 cm, CK 温室的南部平均株高(46.5 cm)高于北部平均株高(39.1 cm)

7.4 cm, RF 温室的南北部株高差异小于 CK 温室的南北部株高差异;说明后屋面张挂反光幕可以改善温室内南北株高不均的问题。

2.4.2 对植株茎粗的影响 图 8 为 RF 温室和 CK 温室内南部与北部植株茎粗的对比,可看出,

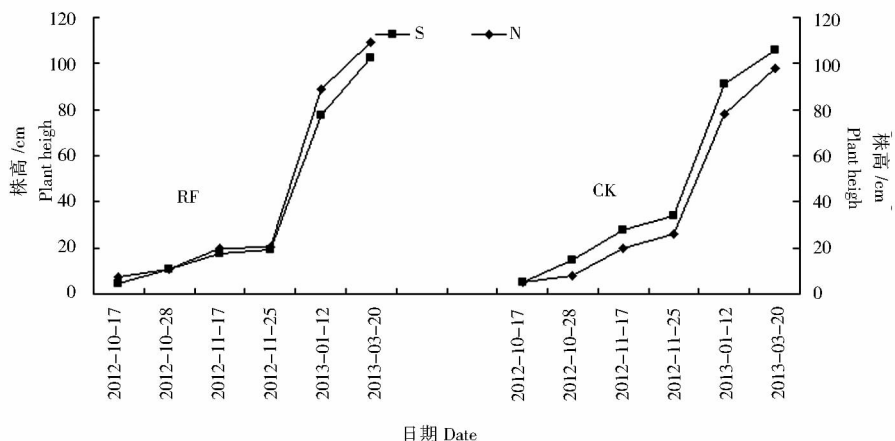


图 7 不同处理植株株高的变化

Fig. 7 The variation of plant height of different treatments

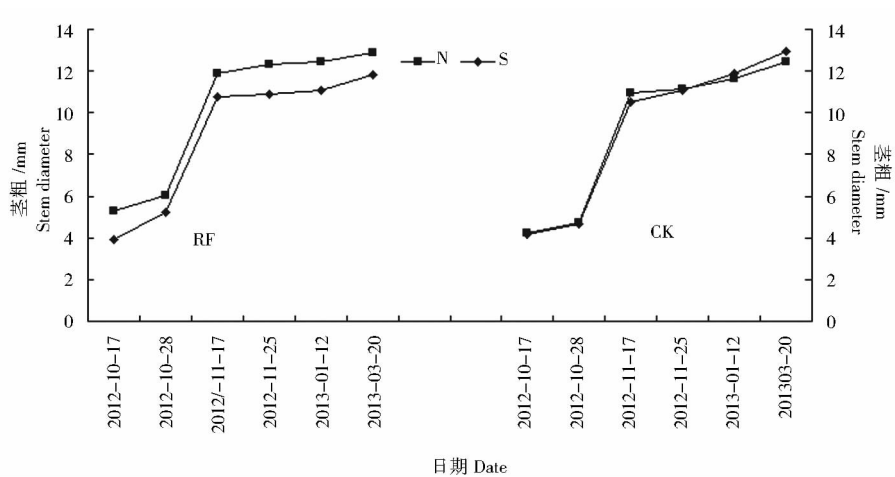


图 8 不同处理植株茎粗的变化

Fig. 8 The variation of plant height of different treatments

RF 温室的北部平均茎粗(10.1 mm)高于南部平均茎粗(9.0 mm)1.1 mm,CK 温室的南部平均茎粗(9.19 mm)高于北部平均茎粗(9.17 mm)0.02 mm,RF 温室的北部平均茎粗高于 CK 温室北部平均茎粗 0.93 mm;说明后屋面张挂反光幕可增加植株茎粗 1 mm 左右。

### 3 结论与讨论

试验结果表明,秋冬季节在后屋面张挂反光幕可以明显提高温室内部的光照强度 7%~14%,很好地改善了温室内南北光照分布不均的问题。晴天条件下无论白天或夜间,后屋面张挂反光幕均可提高室内温度 1.8~7.2℃,提高后屋面白天温度 1℃左右;对于室内湿度的影响则为白天增加湿度 11.9%,夜间降低湿度 8.5%,后屋面表面湿度白天和夜间分别提高 14.8%和 8.3%。室内植株生长方面,后屋面张挂反光幕,能够改善温室植株南北高度不均的问题;增加茎粗 1 mm 左右。

总之,温室后屋面张挂反光幕不仅能增加室内光照,还能提高白天和夜间室内温度,改善温室小环境,促进作物生长。所以,建议生产中在后屋面张挂反光幕进行补光,既可以补光又可以保证后墙蓄热的正常进行,进而保证温室的夜间温度;在进行后屋面张挂反光幕试验过程中,个别时期反光幕反射的光线并不能完全覆盖北部,可见该试验所计算的每月反光幕的张挂角度还有欠缺,所以对于后屋面内可调反光幕的张挂角度有待进一步研究。

### 参考文献:

- [1] 周长吉,周新群,桂金光.几种日光温室复合保温被保温性能分析[J].农业工程学报,1999,15(2):168-171.
- [2] 王云冰,邹志荣.日光温室后屋面优化研究[D].咸阳:西北农林科技大学,2009.
- [3] 白义奎,王铁良.外墙聚苯板复合墙体在日光温室中的应用[J].房材与应用,2002,30(1):27-29.
- [4] 李小芳.日光温室的热环境数学模拟及其结构优化[D].北京:中国农业大学,2005.
- [5] 须辉,李天来.辽沈 I 型日光温室环境特性的研究 I—冬季散热规律的研究[C].国际农业生物环境与能源工程论坛论文集.北京:中国农业科学技术出版社,2003.
- [6] 白义奎,刘文合,王铁良,等.辽沈 I 型日光温室环境及保温性能试验研究[J].农业工程学报,2003,19(5):191-196.
- [7] 车忠仕,佟国红,王铁良,等.典型天气下大跨度日光温室内的微气候特点[J].沈阳农业大学学报,2005,36(4):462-465.
- [8] 李小芳.日光温室的热环境数学模拟及其结构优化[D].北京:中国农业大学,2005.
- [9] 王冰亚.节能型日光温室张挂反光幕栽培茄子试验[J].中国蔬菜,1996(1):34-35.
- [10] 蔡德存,吕毅,赵玉清.聚酯镀铝膜反光幕改善日光温室光照度的试验初报[J].中国农业气象,1994,15(1):45,41.
- [11] 吴继忠.蔬菜温室垂挂反光幕增效显著[J].中国农业气象,1995,16(5):36-37.
- [12] 陈白凤.农用反光幕在日光温室蔬菜生产上的应用[J].山西农业科学,2009,37(5):53-55.
- [13] 王静,崔庆法,林茂兹.不同结构日光温室光环境及补光研究[J].农业工程学报,2002,18(4):86-89.
- [14] 张利华,张永强,张仁祖,等.日光温室反光幕悬挂角度的研究[J].江西农业学报,2010,22(6):160-161.

## Environmental Effect Analysis on Sunlight Greenhouse Roof with Reflective Film

WEI Feng, JIANG Li, ZHANG Ya-hong

(Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021)

**Abstract:** In order to study the influence of greenhouse roof with reflective film on growth of environment and plants, the light intensity, temperature, humidity, plant height and stem diameter were measured during autumn and winter in sunlit greenhouse with the reflective film. The results showed that hanging reflective film after greenhouse roof could supplemental light and the indoor light intensity increased by 7%~14%, which eased light distribution gap of the greenhouse in the north and south, and the indoor temperature increased by 1.8~7.2℃; Moreover, stems diameter increased 1 mm; It could improve high inequality of indoor plants in the north and south. Therefore, hanging reflective screen after the greenhouse roof could not only supplement light but also affect the normal heat storage of back wall in winter.

**Key words:** solar greenhouse; reflective film; environment