

# 内保温日光温室光温性能及增施二氧化碳对黄瓜生长发育的影响

孙 潜<sup>1</sup>, 崔世茂<sup>1</sup>, 宋 阳<sup>1</sup>, 杨志刚<sup>1,2</sup>, 董 乔<sup>1</sup>, 孙世君<sup>1</sup>

(1. 内蒙古农业大学 农学院, 内蒙古 呼和浩特 010019; 2. 内蒙古农牧业科学院 蔬菜研究所, 内蒙古 呼和浩特 010031)

**摘 要:**为明确内蒙古中部地区不同结构日光温室和增施 CO<sub>2</sub> 对温室光温性能以及黄瓜生长发育的影响,以普通日光温室(A)及内保温日光温室(B)为试验温室,并设置 4 个试验处理:AE(普通日光温室 A 增施 CO<sub>2</sub> 处理)、AN(普通日光温室 A 不增施 CO<sub>2</sub> 处理)、BE(内保温日光温室 B 增施 CO<sub>2</sub> 处理)、BN(内保温日光温室 B 不增施 CO<sub>2</sub> 处理),分析研究了在不同结构温室中增施 CO<sub>2</sub> 对黄瓜生长、光合性能、品质、产量的影响。结果表明:内保温日光温室的光照强度及温度均高于普通日光温室,内保温日光温室全天平均光照强度比普通日光温室高 21.05%。在相同温室结构条件下,增施 CO<sub>2</sub> 处理(AE、BE)黄瓜的株高、茎粗,可溶性糖、维生素 C 含量,净光合速率及产量均显著高于不增施 CO<sub>2</sub> 处理(AN、BN)。在相同 CO<sub>2</sub> 浓度下,内保温日光温室(BE、BN)中黄瓜平均株高、平均茎粗,可溶性糖含量、净光合速率及产量均显著高于普通日光温室(AE、AN)。可见,内保温温室结构的优化在改善光温条件方面效果显著,同时结合增施 CO<sub>2</sub> 作为该温室的配套应用技术,对于提升温室性能及提高温室蔬菜生产效率有重要指导意义。

**关键词:**日光温室;光温性能;二氧化碳;黄瓜;净光合速率

**中图分类号:**S 642.226.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)09-0050-06

日光温室是我国北方地区园艺植物生产的重要设施类型。随着设施农业产业发展的需求,日光温室结构向着更加节能、高效的方向优化升级。然而日光温室蔬菜生产仍面临很多问题,例如在内蒙古中部地区以至北方高寒地区,低温寡照、光能利用率低以及设施内 CO<sub>2</sub> 亏缺等成为限制该地区日光温室高效生产的突出因素。因此,开展优化日光温室结构、改善温室光温环境以及提高温室 CO<sub>2</sub> 浓度对于提高蔬菜生产效率的研究具有重要意义。前人针对日光温室结构类型对温室性能的影响开展了大量研究,包括一系列结构创新优化的日光温室,如辽沈系列日光温室<sup>[1]</sup>、“寿光 5 代”温室<sup>[2]</sup>或下沉式日光温室<sup>[3]</sup>、大棚型日光温室<sup>[4]</sup>以及针对内蒙古中部

地区设施结构类型繁杂低效和当地气候条件而设计的新型内保温日光温室<sup>[5]</sup>等,都是通过结构优化来改善温室的光温性能。但是在提升日光温室综合生产性能方面,前人或多集中于优化温室结构方面,或单纯研究增施 CO<sub>2</sub> 对作物(如黄瓜等)的影响方面<sup>[6-11]</sup>,对于依托不同结构日光温室及其所配套的应用技术(如增施 CO<sub>2</sub>)来提升日光温室综合生产能力的研究较少。而该研究重点针对影响日光温室植物光合作用的重要因素:光照、温度和 CO<sub>2</sub> 浓度,通过研究内保温日光温室内增施 CO<sub>2</sub> 对黄瓜生长、光合、品质、产量及经济效益的影响,提升温室结构优化及增施 CO<sub>2</sub> 相配合下内蒙古中部地区日光温室黄瓜生产能力,以期生产提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试材料为黄瓜品种“津优 35 号”(天津科润农业股份有限公司黄瓜研究所),嫁接砧木为云南黑籽南瓜。

试验于 2013 年 8—11 月在内蒙古农业大学试验基地进行,其中日光温室 A 为普通日光温室,日光温室 B 为内保温日光温室,各日光温室示意图如图 1 所示,结构参数如表 1 所示,各温室覆盖材料均相同。黄瓜于 2013 年 8 月 19 日定植。

**第一作者简介:**孙潜(1988-),男,内蒙古凉城人,博士研究生,研究方向为国艺设施环境调控。E-mail:sunq-raul@163.com

**责任作者:**崔世茂(1961-),男,山西代县人,博士,教授,博士生导师,研究方向为国艺作物抗逆生理和园艺设施及环境调控。E-mail:cuishimao@sina.com

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(34060269);内蒙古自治区科技计划资助项目(20110710);山西省科技厅计划资助项目(FT2014-2-7);教育部博士点基金资助项目(20101515110005)。

**收稿日期:**2015-12-18

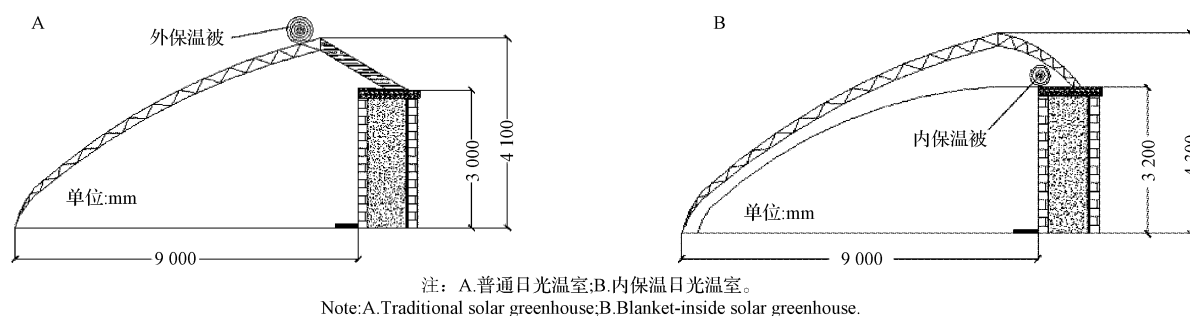


图1 不同结构日光温室示意图

Fig.1 Sectional view of solar greenhouses in different types

表1

试验温室的结构参数

Table 1

Structure parameter of experiment solar greenhouses

| 温室类型<br>Type of greenhouse                 | 温室长度<br>Length/m | 温室跨度<br>Span/m | 后墙高度<br>Height of back wall/m | 温室脊高<br>Ridge height/m | 温室方位角<br>Direction angle/(°) | 采光角<br>Front roof angle/(°) |
|--|------------------|----------------|-------------------------------|------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| 普通日光温室(A) Traditional solar greenhouse     | 50.0             | 9.0            | 3.0                           | 4.1                    | 南偏西 5                        | 24.5                        |
| 内保温日光温室(B) Blanket-inside solar greenhouse | 50.0             | 9.0            | 3.2                           | 4.3                    | 南偏西 5                        | 28.0                        |

## 1.2 试验方法

该试验分别在普通日光温室(A)和内保温日光温室(B)中进行,设4个处理。处理AE:普通日光温室(A)增施CO<sub>2</sub>处理;处理AN:普通日光温室(A)不增施CO<sub>2</sub>处理;处理BE:内保温日光温室(B)增施CO<sub>2</sub>处理;处理BN:内保温日光温室(B)不增施CO<sub>2</sub>处理。在同一温室中分别使用塑料膜将不同CO<sub>2</sub>浓度处理隔开并保持独立。每处理3个重复,每个重复2个小区,小区面积为32 m<sup>2</sup>。定植采用高垄覆膜双行方式栽培,大行距为80 cm,小行距为40 cm,株距为35 cm。定植坐瓜后(9月2日)开始于处理AE和BE小区中增施CO<sub>2</sub>,每天08:00及13:00增施,阴雨天不增施,维持处理AE、BE中CO<sub>2</sub>浓度在1 000~1 200 μmol/L;处理AN和BN进行常规管理,正常放风(08:00—17:00)。

CO<sub>2</sub>增施方法:采用乌兰察布市慧明科技有限公司生产的AI型CO<sub>2</sub>发生器增施CO<sub>2</sub>,其原理是高温分解碳酸氢铵产生CO<sub>2</sub>、NH<sub>3</sub>,经过滤系统除去NH<sub>3</sub>后施CO<sub>2</sub>。

## 1.3 项目测定

环境指标测定:包括各处理中光照强度、温度及CO<sub>2</sub>浓度。使用北京旗硕基业科技有限责任公司生产的“农用通”环境监控系统,环境指标测点选于距地面1.5 m高处,测定时间为2013年8月—2013年11月。各温室光照强度及温度为连续增施CO<sub>2</sub>处理30 d各时刻的平均值(其中08:30—17:00时段作为光照强度数据采集时段),并进行数据分析。

生长发育及光合生理等指标测定:包括株高、茎粗、净光合速率(Pn)、蒸腾速率(Tr)、可溶性糖含量、维生素C含量及单瓜重等。于9月3日开始在各处理中随机选择5株长势健壮一致的植株进行标记,之后每10 d测量

株高(使用卷尺)及茎粗(使用游标卡尺);于增施CO<sub>2</sub>处理30 d随机选择10条大小均一的黄瓜使用天平进行称重测定,产量为增施CO<sub>2</sub>处理30 d各处理采收总重量。净光合速率(Pn)、蒸腾速率(Tr)使用美国汉莎公司CIR-AS-2型光合仪,于增施CO<sub>2</sub>处理的30 d后其中一典型晴天(10月4日)的10:00及14:00在各处理中选择健壮植株的功能叶进行测定,重复3次;于10月5日在各处理中随机选择3条黄瓜测定其可溶性糖及维生素C含量,其中可溶性糖含量采用蒽酮比色法<sup>[11]</sup>测定,维生素C含量采用2,6-二氯酚靛酚法<sup>[11]</sup>测定。

## 1.4 数据分析

采用Excel 2007软件进行数据处理及作图,使用SAS 9.0软件进行数据分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同处理对温室环境因素的影响

2.1.1 不同处理对温室光照强度及透光率的影响 由图2可知,各处理光照强度以及外界光照强度连续30 d在08:30—17:00时段的平均变化。各处理光照的变化

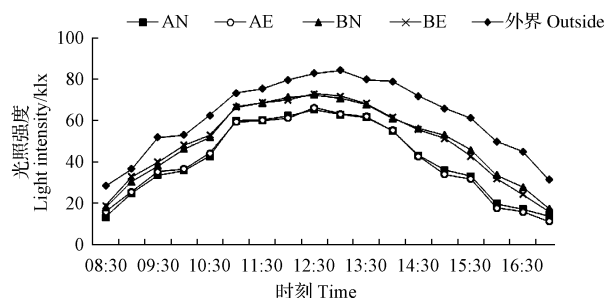


图2 不同处理中光照强度日平均变化

Fig.2 Diurnal variation of light intensity in different treatments

趋势与外界基本一致,不同日光温室的光照变化存在差异。相同温室结构条件下,处理 AN 与 AE 处理间以及 BN 与 BE 处理间光照强度差异不明显。在相同 CO<sub>2</sub> 浓度处理下,不同结构日光温室光照强度表现为 BE>AE, BN>AN。此外,内保温日光温室(B)处理下的 BE 和 BN 处理日平均光照强度分别为 49.71 klx 和 49.83 klx,而普通温室(A)处理下的 AE 和 AN 处理的日平均光照强度分别为 41.04 klx 和 41.19 klx,内保温日光温室(B)日平均光照强度较普通日光温室(A)高出 21.05%。

2.1.2 不同处理对温室气温变化的影响 由图 3 可知,不同处理下日光温室气温日平均变化趋势基本一致。在相同温室结构条件下,08:00—18:00 时段不同 CO<sub>2</sub> 浓度处理气温表现为 BE>BN, AE>AN,而其它时间段中 AN 与 AE 处理间以及 BN 与 BE 处理间温度没有明显差异。在相同 CO<sub>2</sub> 浓度处理下,08:00—18:00 间各处理中气温表现为 BE>AE, BN>AN。处理 AE 及 BE 在 12:00—14:00 进入高温阶段,最高温度分别达到 42.8℃ 和 44.9℃。

2.2 不同处理对黄瓜生长、品质及光合特性的影响

2.2.1 不同处理对黄瓜生长及品质的影响 由图 4 可

知,不同处理对黄瓜生长影响较大。在相同温室结构条件下,不同 CO<sub>2</sub> 浓度处理下黄瓜的株高及茎粗均表现为 AE>AN, BE>BN,且随处理时间的推移差异越来越明显,AE 处理黄瓜平均株高及平均茎粗比处理 AN 分别高 11.71% 和 16.49%,BE 处理黄瓜平均株高及平均茎粗比 BN 分别高 11.91% 和 17.06%。在相同浓度 CO<sub>2</sub> 处理下,黄瓜的株高及茎粗均表现为 BN>AN, BE>AE,处理中 BN 处理黄瓜平均株高及平均茎粗比处理 AN 分别高 3.84% 和 5.02%,BE 处理黄瓜平均株高及平均茎粗比处理 AE 分别高 4.02% 和 5.54%。

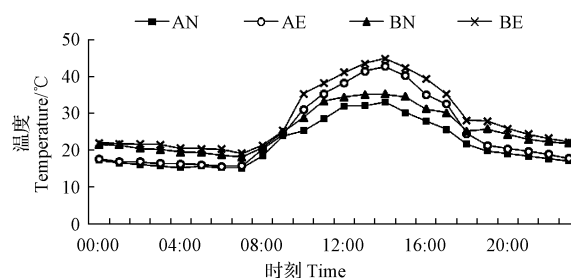


图 3 不同处理温度日变化

Fig. 3 Diurnal variation of temperature in different treatments

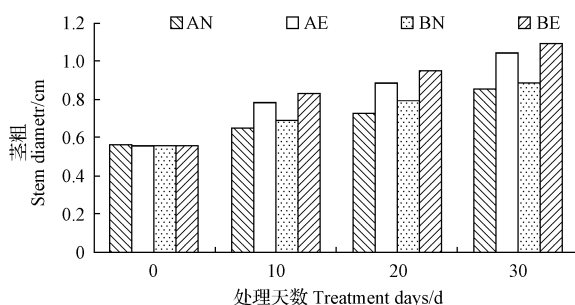
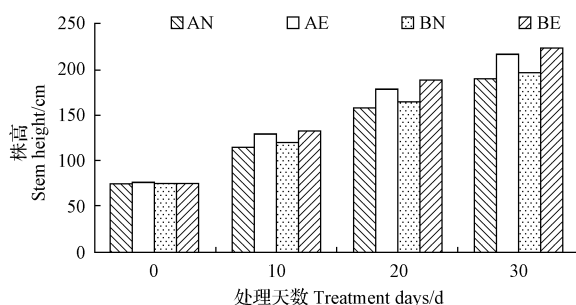


图 4 不同处理对黄瓜株高及茎粗的影响

Fig. 4 Effect of different treatments on cucumber stem height and stem diameter in each solar greenhouse

由表 2 可知,在相同温室结构条件下,不同 CO<sub>2</sub> 浓度处理下黄瓜果实可溶性糖、维生素 C 含量、单瓜重及产量均表现为 AE>AN, BE>BN,且处理 AE 较处理 AN 分别高 9.81%、6.73%、14.22%及 37.07%,处理 BE 较处理 BN 分别高 7.52%、7.80%、14.28%及 59.99%。

表 2

不同处理对黄瓜品质及产量的影响

Table 2

Effect of different treatments on cucumber quality and yield in each solar greenhouse

| 处理<br>Treatment | 可溶性糖含量<br>Contents of soluble sugar/% | 维生素 C 含量<br>Contents of vitamin C/(mg·(100g) <sup>-1</sup> ) | 单瓜重<br>Cucumber weight/g | 产量<br>Yield/kg |
|-----------------|---------------------------------------|--|--------------------------|----------------|
| AN              | 2.14±0.02d                            | 13.23±0.13b  | 207.89±5.35d             | 823.26±21.17d  |
| AE              | 2.35±0.02b                            | 14.12±0.12a  | 237.46±4.42b             | 1128.42±20.99b |
| BN              | 2.26±0.02c                            | 13.33±0.14b  | 218.04±4.70c             | 863.45±18.60c  |
| BE              | 2.43±0.03a                            | 14.37±0.14a  | 249.18±4.78a             | 1381.47±26.50a |

注:同列不同字母表示处理间差异显著(P<0.05)。下同。

Note: The different letters in the same column mean significant difference among treatments at 0.05 level. The same below.

在相同浓度 CO<sub>2</sub> 处理下,黄瓜果实可溶性糖含量、单瓜重及产量表现为 BE>AE, BN>AN,且处理 BE 可溶性糖含量及产量高于处理 AE 3.40%及 22.43%。可见,在内保温日光温室中增施 CO<sub>2</sub> 对黄瓜光合产物的积累更加有利。

2.2.2 不同处理对黄瓜光合特性的影响 由表3可知,各处理下黄瓜净光合速率(Pn)、蒸腾速率(Tr)和水分利用效率(WUE)均表现为14:00低于10:00。相同温室结构条件下,不同时段黄瓜Pn、Tr和WUE均表现为AE>AN, BE>BN,且差异显著。在相同CO<sub>2</sub>浓度处理

下,各时段黄瓜Pn和Tr均表现为BE>AE, BN>AN,且差异显著。在10:00 AE与BE、AN与BN处理黄瓜的WUE不存在显著性差异,而在14:00, BE处理的WUE高于AE 9.65%,而BN与AN处理间不存在显著性差异。

表3

不同处理对黄瓜光合特性的影响

Table 3 Effect of different treatments on cucumber photosynthetic characteristics in each solar greenhouse

| 处理<br>Treatment | 净光合速率 Pn/( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) |             | 蒸腾速率 Tr/( $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) |             | 水分利用效率 WUE/( $\text{mmol} \cdot \text{mol}^{-1}$ ) |       |
|-----------------|--|-------------|---|-------------|--|-------|
|                 | 10:00  | 14:00       | 10:00   | 14:00       | 10:00  | 14:00 |
| AN              | 18.51±0.22d  | 15.70±0.38d | 15.20±0.16d   | 16.79±0.15d | 1.22b  | 0.94c |
| AE              | 26.88±0.30b  | 23.45±0.17b | 16.40±0.21b   | 20.50±0.13b | 1.64a  | 1.14b |
| BN              | 19.26±0.08c  | 17.88±0.19c | 15.70±0.30c   | 17.49±0.25c | 1.23b  | 1.02c |
| BE              | 29.15±0.26a  | 26.65±0.30a | 17.59±0.23a   | 21.26±0.19a | 1.66a  | 1.25a |

注:水分利用效率=净光合速率/蒸腾速率<sup>[11]</sup>。

Note: WUE=Pn/Tr<sup>[11]</sup>。

### 3 讨论与结论

#### 3.1 不同温室结构对温室光温环境及黄瓜生长的影响

光照强度是影响温室温度以及植物光合作用的重要因素<sup>[12-13]</sup>。该试验中,内保温日光温室(B)日平均光照强度较普通日光温室(A)高出21.05%,这与刘晓蕊等<sup>[14]</sup>研究结果一致。究其原因,主要是内保温日光温室在结构上更加优化。第一,内保温温室采光角增大,使温室透光率增加,前人对此也有类似结果<sup>[15-18]</sup>。其次,内保温日光温室采用薄膜覆盖钢架式的后屋面结构,减少了后屋面对光线的遮挡,温室光照强度增加。第三,内保温日光温室的保温覆盖材料放置于内层钢架的顶端,减少了对光线的遮挡。该试验中,温室内气温表现为处理BN>AN, BE>AE。这主要得益于内保温日光温室结构的改善增加了温室采光能力,温室接受太阳辐射能力增强,温度增加明显。孙周平等<sup>[19]</sup>对彩钢板保温装配式节能日光温室的温光性能的研究表明,与辽沈Ⅲ型土墙日光温室比较,彩钢板保温装配式节能日光温室屋面采光角增加16.3°,采光率提高5.3%,采光量大,升温快,其结果与该试验类似。

不同日光温室环境对黄瓜的生长、品质和光合作用能力有明显影响,该试验结果发现,内保温日光温室中黄瓜营养生长、品质和光合作用能力等指标均表现突出;相较于普通日光温室,内保温日光温室各处理产量之和增产15.03%。可见内保温日光温室结构的优化改善了温室光温环境,提升温室蔬菜生产能力,对蔬菜作物的生长和品质的提高有促进作用。

#### 3.2 不同CO<sub>2</sub>浓度对黄瓜生长的影响

试验发现,处理AE、BE中黄瓜生长、品质及产量均高于处理AN、BN。这与崔庆法等<sup>[20]</sup>研究一致。处理BE中黄瓜植株的生长及果实品质均高于处理AE,且增产22.43%,内保温日光温室中增施CO<sub>2</sub>对黄瓜生长的效果要明显优于普通日光温室。

CO<sub>2</sub>浓度升高能够提升植物的光合能力。该试验中,10:00及14:00处理AE、BE中黄瓜叶片的Pn均高于处理AN、BN。这与前人研究结果类似<sup>[21]</sup>。处理AE、BE在采光时段温室内气温均高于AN和BN,这主要是在日光温室相对密闭的环境中,CO<sub>2</sub>吸收红外辐射,使气温加速升高。而且在14:00时处理AE、BE温度都超过40℃,黄瓜生长正常,Pn下降幅度小,这可能是在高浓度CO<sub>2</sub>条件下,植物光合作用的最适温度会增加5℃~10℃<sup>[22]</sup>。ZHOU等<sup>[23]</sup>也研究表明,CO<sub>2</sub>浓度升高对作物光合作用的促进作用随温度升高可使这种促进作用进一步增大。有研究表明<sup>[24-26]</sup>,在高温条件下,升高CO<sub>2</sub>浓度会提高Rubisco酶活性,使光合能力增强。而且处理BE中黄瓜Pn在10:00和14:00较AE分别高8.44%、13.65%,这可能是强光下高温以及高浓度CO<sub>2</sub>共同配合提升了光合效率的结果<sup>[3]</sup>。

此外,该试验中,各处理14:00时Tr均高于10:00,这可能是温度升高加快了植物水分蒸发而引起蒸腾速率提高。有研究表明<sup>[27]</sup>,在一定温度范围内,叶片的气孔开度会随着温度的升高逐渐增大,从而促进蒸腾作用;当温度升高到对植物造成胁迫时,气孔开度开始减小,蒸腾作用也随之下降。而该试验中,处理AE、BE中黄瓜的蒸腾速率随温度升高而增大,其原因可能是高CO<sub>2</sub>浓度和高温协同作用的结果,高CO<sub>2</sub>浓度导致了植物蒸散量的减少,而温度升高却会促进植物蒸散量的增加<sup>[28]</sup>,使得植物仍能保持较高的蒸腾速率,从而减弱了高温对植物的伤害,这也与王玉静等<sup>[29]</sup>的研究结果相似。蒸腾速率的变化由气孔开度的变化引起<sup>[10]</sup>,该试验中,处理BE中黄瓜叶片的蒸腾速率要高于处理AE,可以推测处理BE中黄瓜叶片的气孔开度更大,使得气体交换量增加,从而增加胞间CO<sub>2</sub>浓度促进光合作用。

综上所述,内保温温室结构的优化在改善光温条件方面效果显著,也提升了温室生产能力,对黄瓜优质增



产具有促进作用;而增施 CO<sub>2</sub> 处理,更加促进了这种作用,对于生产有重要意义。此外,日光温室结构的优化方向,以及由于 CO<sub>2</sub> 施肥技术不够完善而带来的一些问题,都将是今后研究解决的重点内容。

(该文作者还有伍虹宇,单位同第一作者。)

### 参考文献

- [1] 白义奎,李天来,王铁良,等. 辽宁日光温室结构研究进展[J]. 北方园艺,2011(1):62-67.
- [2] 丁小明,周长吉,魏晓明. 下沉式机打土墙结构的日光温室性能与适应性分析[C]//设施园艺创新与进展-中国寿光国际设施园艺高层学术论坛,2011.
- [3] 张志录,王思倩,刘中华,等. 下沉式日光温室土质墙体热特性的试验与分析[J]. 农业工程学报,2012,28(12):208-215.
- [4] 崔世茂,陈源阔,霍秀文,等. 大棚型日光温室设计及光效应初探[J]. 农业工程学报,2005,21(5):214-218.
- [5] 崔世茂. 新型内保温日光温室:201320132272.8[P]. 2013-07-17.
- [6] KLÄRING H P, HAUSCHILD C, HEIBNER A, et al. Model-based control of CO<sub>2</sub> concentration in greenhouses at ambient levels increases cucumber yield[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2007, 143(3):208-216.
- [7] JIN C, DU S, WANG Y, et al. Carbon dioxide enrichment by composting in greenhouses and its effect on vegetable production[J]. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2009, 172(3):418-424.
- [8] 魏珉,尹燕东,王秀峰,等. CO<sub>2</sub> 施肥对黄瓜幼苗矿质营养吸收与分配的影响[J]. 农业工程学报,2005,21(5):99-102.
- [9] 谢辉,范桂枝,荆彦辉,等. 植物对大气 CO<sub>2</sub> 浓度升高的光合适应机理研究进展[J]. 中国农业科技导报,2006,8(3):29-34.
- [10] 高文瑞,徐刚,王虹,等. CO<sub>2</sub> 施肥对设施蔬菜影响的研究进展[J]. 江苏农业科学,2009(6):213-216.
- [11] 王建林,温学发,赵风华,等. CO<sub>2</sub> 浓度倍增对 8 种作物叶片光合作用、蒸腾作用和水分利用效率的影响[J]. 植物生态学报,2012,36(5):438-446.
- [12] TURNER N C, FISCHER R A. Plant productivity in the arid and semi-arid zones[J]. Annual Review of Plant Biology, 2003, 29:277-317.
- [13] 李合生. 现代植物生理学[M]. 2 版. 北京:高等教育出版社,2002:182-184.
- [14] 刘晓蕊,朱山川,刘杰才,等. 新型内保温日光温室光照和温湿性能初步研究[J]. 农业工程技术(温室园艺),2014(4):64-66.
- [15] 王明喜,崔世茂,王红彬,等. 大棚型日光温室光照、温度及湿度性能初步研究[J]. 农业工程技术(温室园艺),2008(5):19-21.
- [16] 刘彦辰,邹志荣,胡晓辉,等. 陕西关中地区不同跨度日光温室光温环境分析[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2013(2):108-116.
- [17] 张勇,邹志荣,李建成. 倾斜屋面日光温室的采光及蓄热性能试验[J]. 农业工程学报,2014(1):129-137.
- [18] 李家宁,马承伟,赵淑梅,等. 几种常用屋面形状和倾角的日光温室光照环境比较[J]. 新疆农业科学,2014,51(6):1008-1014.
- [19] 孙周平,黄文永,李天来,等. 彩钢板保温装配式节能日光温室的光温性能[J]. 农业工程学报,2013,29(19):159-167.
- [20] 崔庆法,王静. 补施 CO<sub>2</sub> 对日光温室黄瓜生长的影响[J]. 西北植物学报,2003,23(1):39-43.
- [21] SAKAI H, YAGI K, KOBAYASHI K, et al. Rice carbon balance under elevated CO<sub>2</sub>[J]. New Phytologist, 2001, 150(2):241-249.
- [22] ALLEN L H J. Carbon dioxide increase; direct impacts on crops and indirect effects mediated through anticipated climatic changes[C]//Boote K J. Physiology and Determination of Crop Yield. USA: Madison, 1994. 425 - 459.
- [23] ZHOU X, GE Z, KELLOMÄKI S, et al. Effects of elevated CO<sub>2</sub> and temperature on leaf characteristics, photosynthesis and carbon storage in aboveground biomass of a boreal bioenergy crop (*Phalaris arundinacea* L.) under varying water regimes[J]. Global Change Biology Bioenergy, 2011, 3(3):223-234.
- [24] 马博,崔世茂,张之为,等. 高温、CO<sub>2</sub> 加富对温室嫁接黄瓜形态特征、净光合速率和 Rubisco 羧化酶活性的影响[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版),2013(3):32-39.
- [25] 潘璐,刘杰才,李晓静,等. 高温和加富 CO<sub>2</sub> 温室中黄瓜 Rubisco 活化酶与光合作用的关系[J]. 园艺学报,2014,41(8):1591-1600.
- [26] BATTS G R, ELLIS R H, MORISON J I L, et al. Yield and partitioning in crops of contrasting cultivars of winter wheat in response to CO<sub>2</sub> and temperature in field studies using temperature gradient tunnels[J]. The Journal of Agricultural Science, 1998, 130(1):17-27.
- [27] LEAKEY A D B, AINSWORTH E A, BERNACCHI C J, et al. Elevated CO<sub>2</sub> effects on plant carbon, nitrogen, and water relations; six important lessons from FACE[J]. Journal of Experimental Botany, 2009, 60(10):2859-2876.
- [28] PRIOR S A, RUNION G B, MARBLE S C, et al. A review of elevated atmospheric CO<sub>2</sub> effects on plant growth and water relations; implications for horticulture[J]. Hort Science, 2011, 46(2):158-162.
- [29] 王玉静,崔世茂,方浩,等. CO<sub>2</sub> 加富,高温处理对温室嫁接黄瓜幼苗质膜透性和保护酶活性的影响[J]. 华北农学报,2012,27(1):159-163.

## Impact of Illumination and Temperature Performance of Blanket-inside Solar Greenhouse and CO<sub>2</sub> Enrichment on Cucumber Growth and Development

SUN Qian<sup>1</sup>, CUI Shimao<sup>1</sup>, SONG Yang<sup>1</sup>, YANG Zhigang<sup>1,2</sup>, DONG Qiao<sup>1</sup>, SUN Shijun<sup>1</sup>, WU Hongyu<sup>1</sup>

(1. College of Agronomy, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010019; 2. Vegetable Institutes, Inner Mongolia Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Hohhot, Inner Mongolia 010031)

**Abstract:** To evaluate the effects of solar greenhouse with different structure and CO<sub>2</sub> enrichment on illumination and temperature performance of greenhouse and cucumber growth and development in the central region of Inner Mongolia, using traditional solar greenhouse (A) and blanket-inside solar greenhouse(B), setting 4 treatments. AE(traditional solar greenhouse A with CO<sub>2</sub> enrichment), AN(traditional solar greenhouse A without CO<sub>2</sub> enrichment), BE(blanket-inside

# 日光温室一年五熟高效栽培技术

赵 虎<sup>1,2</sup>, 李德超<sup>3</sup>, 张 宏<sup>4</sup>, 秦 勇<sup>1</sup>

(1. 新疆农业大学 林学与园艺学院, 新疆 乌鲁木齐 830052; 2. 新疆昌吉国家农业科技园区, 新疆 昌吉 831100;  
3. 吐鲁番市高昌区农业技术推广中心, 新疆 吐鲁番 838000; 4. 阿克苏地区园艺管理工作站, 新疆 阿克苏 843000)

**摘 要:**通过合理安排日光温室种植制度提高复种指数,可以减轻病虫害危害、增加产量、改进品质、充分吸收土壤中的各种养分、平衡土壤的酸碱性、改善土壤结构等。对新疆阿克苏市日光温室秋冬茬黄瓜-冬茬快菜栽培和早春茬辣椒、豇豆、快菜间套作的栽培模式进行调查研究,分析了日光温室高产高效的原因。主要介绍了该栽培模式的茬口安排,育苗,定植,温度、湿度管理,光照管理,病虫害防治等方面的内容。结果表明:秋冬茬黄瓜-冬茬快菜栽培和早春茬辣椒、豇豆、快菜间套作栽培模式可以更好地利用土地,节约成本,提高产量,增加种植户的收益。经过多年实践,以种植户经验为基础,总结出了适合阿克苏市日光温室秋冬茬黄瓜-冬茬快菜-早春茬辣椒、豇豆、快菜间套作的栽培模式,该栽培模式日光温室每 667 m<sup>2</sup> 平均纯收入为 36 675 元,种植户年纯收入 15.67 万元。

**关键词:**日光温室;黄瓜;快菜;辣椒;豇豆;间套作

**中图分类号:**S 626.504<sup>+</sup>.6 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-0009(2016)09-0055-04

黄瓜属喜温蔬菜,日光温室越冬栽培采暖费用较高,冬季加温措施不当容易造成高温高湿或低温高湿的环境,导致黄瓜病虫害严重,管理困难<sup>[1]</sup>。秋冬茬黄瓜在严冬到来之前拉秧复种便于管理的叶菜类可降低采

暖成本及劳动强度。辣椒是喜光作物,又属耐弱光果菜<sup>[2]</sup>,光照直接影响辣椒的光合作用和抗病虫害的能力,影响到开花坐果及果实的发育<sup>[3]</sup>,生产上常采用辣椒和玉米、菜豆等间作的栽培方式,以减少太阳光对辣椒的直接辐射。适度遮阳可提高辣椒的产量,减少日灼果实并提高品质。采用合理的日光温室种植制度可以提高复种指数,减轻病虫害危害,增加产量,改善品质,充分吸收土壤中的各种养分等。自 20 世纪 90 年代开始,随着日光温室面积的增加,对于日光温室蔬菜栽培模式方面的报道也随之增多。仲伟林等<sup>[4]</sup>研究了蔬菜间套种立体栽培技术,刘发万等<sup>[5]</sup>研究了辣椒-玉米-芋头间

**第一作者简介:**赵虎(1989-),男,硕士研究生,研究方向为设施农业。E-mail:1473846769@qq.com.

**责任作者:**秦勇(1962-),男,硕士,教授,现主要从事设施蔬菜栽培的科研与教学等工作。E-mail:xjndqinyong@sina.com.

**基金项目:**新疆维吾尔自治区“十二五”重大专项资助项目(201130104-2-1)。

**收稿日期:**2015-12-16

solar greenhouse B with CO<sub>2</sub> enrichment) and BN(blanket-inside solar greenhouse B without CO<sub>2</sub> enrichment), the influence of cucumber growth, photosynthetic property, quality and yield in different structure solar greenhouses with CO<sub>2</sub> enrichment was studied. The results showed that the illumination and temperature in blanket-inside solar greenhouse was superior to traditional solar greenhouse, the average light intensity in blanket-inside solar greenhouse increased by 21.05%, comparing with traditional solar greenhouse. Under the condition of same greenhouse structure, stem height, average stem diameter, contents of soluble sugar, vitamin C, net photosynthetic rate and yield showed significant difference between the treatments with CO<sub>2</sub> enrichment or not. Under the condition of same CO<sub>2</sub> concentration, cucumber average stem height, average stem diameter, contents of soluble sugar, net photosynthetic rate and yield in BE were higher than those in AE. Therefore, the optimization in structure of blanket-inside solar greenhouse remarkably improved illumination and temperature property, combining with CO<sub>2</sub> enrichment as application technology, there was crucial significance to promote the greenhouse performance and improve the efficiency of greenhouse vegetable production.

**Keywords:** solar greenhouse; illumination and temperature performance; CO<sub>2</sub>; net photosynthetic rate