

# 日光温室光照特点及其变化规律研究

郜庆炉<sup>1</sup>, 梁云娟<sup>1</sup>, 段爱旺<sup>2</sup>

(1. 河南职业技术师范学院, 新乡 453003; 2 水利部 中国农科院农田灌溉研究所, 新乡 453003)

**摘要:** 对日光温室内的光照时间、太阳总辐射量、太阳辐射透过率的季节变化和日变化, 光照度的空间分布规律进行了较为系统的研究; 并对各季节不同天气条件下日光温室内外太阳辐射的关系, 日光温室内太阳总辐射量与时间的关系进行了回归相关分析, 建立了相应的回归方程。利用该组方程可以对各季节不同天气条件下、不同时间日光温室内的太阳辐射量进行估算分析。

**关键词:** 日光温室; 光照; 变化规律

**中图分类号:** S625

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-6819(2003)03-0200-05

## 1 引言

目前, 关于日光温室的研究多集中在对温室结构性能、建筑材料、采光、保暖、供热、通风、平衡施肥、节水灌溉、病虫害防治等方面<sup>[1-15]</sup>。对日光温室光照环境的研究也时有报道, 孙治强、王吉庆<sup>[2]</sup>等曾对黄淮改良型日光温室不同部位的光照强度的日变化进行过研究; 刘克长、任中兴<sup>[1]</sup>等曾对日光温室透光率、作物群体内部光照分布进行过研究; 周绪元、顾三军<sup>[15]</sup>等曾对晴转阴天气日光温室光照度的日变化做过研究, 但对日光温室光照特点及其随时间而变化的规律较为系统的统计与研究的报道相对较少。

## 2 实验方法

在水利部农田灌溉研究所, 长 40 m、跨度为 7.9 m、屋脊高 3.6 m、东西延长的塑料日光温室内, 用由以色列引进的计算机自动采集数据系统(采集探头设置在温室的中央距地面 2m 处), 获取 1999 年 9 月至 2000 年 9 月的逐日逐时辐射资料, 同时运用照度计(NYZ-91)对日光温室内外光照度进行测定(用 5 台照度计分别在距西墙 3.4 m、6.4 m、19.5 m 和距东墙 3.4 m、6.4 m 处, 同时迅速由北向南、由下向上进行第一次测定, 随即再迅速由南向北、由上向下进行第二次测定, 对应测点的两次测定数据的平均值做为此点的观测值), 获取日光温室光照度的空间分布资料, 进行统计分析, 探求日光温室光照环境特点及其变化规律。

## 3 结果分析

### 3.1 日光温室内的光照时间

在我国北方 N 34°18' ~ N 41°46' 的广大地区, 在日光温室的主要使用季节 10 月份至翌年 4 月份, 即从寒

露至清明, 日出的时间由寒露的 5:51~6:44 逐渐推迟到冬至的 7:06~7:42, 然后再由小寒的 7:16~7:52 逐渐提早到清明的 5:24~6:27; 日没的时间由寒露的 17:17~18:20 逐渐提早到冬至的 16:19~17:39, 然后再由小寒的 16:30~17:49 逐渐推迟到清明的 18:15~19:08。日照时数也由寒露的 11.43~11.60 h 逐渐缩短到冬至的 9.15~9.87 h, 然后又逐渐延长到清明的 12.67~12.87 h。

表 1 各月日光温室外覆盖物的揭盖时间及见光时间

Table 1 Covering and uncovering time of outside covering material and sunshine time in the solar greenhouse in each month

月份	10	11	12	1	2	3	4	5
覆盖物揭时	7:00	8:00	8:30	9:00	8:00	8:00	7:00	7:00
覆盖物盖时	17:30	17:00	16:30	16:30	17:00	17:30	18:00	18:30
见光时数/h	10.5	9	8	7.5	9	9.5	11	11.5

根据我国北方地区, 日光温室主要使用季节中日日出日没时间和日照时数的变化规律, 考虑到日光温室的保温效果和见光时数, 在河南地区利用日光温室进行作物生产, 外覆盖保温覆盖物的揭盖时间, 一般秋季应在早上 7:00~8:00 揭开, 下午 17:00~18:00 盖上; 冬季在早上 8:00~9:00 揭开, 下午 16:00~17:00 盖上; 冬末春初在早上 8:00 揭开, 下午 17:00~18:00 盖上; 春季在早上 7:00 揭开, 下午 18:00~18:30 时盖上。日光温室的见光时数在秋季为 9~10.5 h, 冬季为 7.5~9 h, 春季为 9.5~11.5 h(表 1)。

### 3.2 日光温室内的太阳总辐射

#### 3.2.1 日光温室内外太阳辐射的差值

由表 2 看出日光温室内外太阳总辐射的最大值在一日内均出现在 13:00, 这与刘克长、任中兴等的研究结果<sup>[1]</sup>基本上是一致的; 由图 1 可以看出, 在 10 月份至翌年 5 月份, 日光温室内的太阳辐射低于室外, 且日光温室内外太阳辐射值的差值在春季最大, 秋季次之, 冬季最低; 一日内日光温室内外太阳辐射的差值在早晚较低, 12:00~13:00 达到最大。室外的太阳辐射值在春季最高可比温室内高 220.37 W/m<sup>2</sup>, 秋季高 152.16 W/m<sup>2</sup>, 冬季高 93.27 W/m<sup>2</sup>。

收稿日期: 2002-09-29

基金项目: 国家“948”项目(965121); 河南职业技术师范学院重点项目(02112)

作者简介: 郜庆炉(1963-), 男, 河南沁阳人, 副教授, 博士, 主要从事农业资源与高效农作制度研究。河南新乡 河南职业技术师范学院, 453003

表 2 日光温室室内太阳辐射值(1999~ 2000)

Table 2 Solar radiation inside solar greenhouse(1999~ 2000)

$w/m^2$

时间	月 份							
	10	11	12	1	2	3	4	5
7: 00	1. 02	—	—	—	—	—	18. 88	42. 49
8: 00	22. 98	14. 74	—	—	3. 01	22. 59	75. 55	127. 28
9: 00	70. 39	67. 87	23. 47	5. 63	26. 73	70. 16	183. 05	232. 14
10: 00	144. 16	156. 57	110. 24	31. 20	113. 50	215. 11	306. 21	380. 37
11: 00	218. 38	247. 72	182. 21	87. 64	199. 62	334. 56	418. 50	464. 71
12: 00	247. 05	275. 68	211. 09	133. 66	260. 29	400. 79	429. 77	444. 68
13: 00	267. 59	316. 82	226. 63	166. 00	315. 59	447. 78	496. 34	529. 90
14: 00	242. 03	274. 87	189. 46	143. 58	298. 99	408. 30	470. 96	511. 92
15: 00	180. 46	200. 45	132. 94	121. 86	246. 19	342. 97	401. 24	450. 37
16: 00	108. 29	107. 67	64. 98	83. 75	165. 94	251. 87	283. 03	319. 24
17: 00	42. 82	33. 69	13. 16	28. 27	72. 22	131. 49	161. 29	209. 10
18: 00	5. 78	—	—	—	—	35. 24	69. 57	97. 78
19: 00	—	—	—	—	—	—	15. 52	30. 11

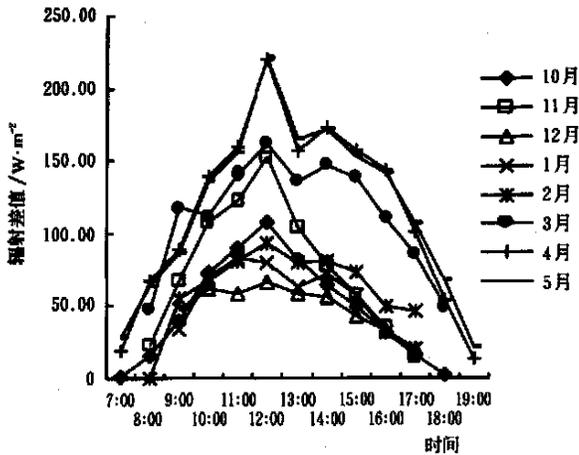


图 1 外界与日光温室室内辐射差值的日变化

Fig. 1 Daily change of solar radiation difference between inside and outside solar greenhouse

节明显高于冬季, 这可能是冬季太阳高度角小, 春秋季节太阳高度角大的缘故, 而中午前后的透过率季节间差异不大。

表 3 日光温室太阳辐射的透过率

Table 3 Transmission ratio of solar radiation in solar greenhouse(1999~ 2000) %

时间	月 份							
	10	11	12	1	2	3	4	5
7: 00	55	—	—	—	—	—	50	60
8: 00	60	40	—	—	19	33	53	67
9: 00	64	50	33	14	33	37	67	73
10: 00	67	59	64	31	63	67	69	74
11: 00	71	67	76	51	71	71	73	75
12: 00	70	64	76	63	74	71	66	67
13: 00	77	75	80	75	80	77	76	76
14: 00	79	78	77	67	79	74	73	75
15: 00	78	78	76	68	77	71	72	75
16: 00	77	76	67	73	77	70	66	69
17: 00	73	69	39	58	61	61	62	66
18: 00	68	—	—	—	—	42	56	59
19: 00	—	—	—	—	—	—	54	59

3.2.2 日光温室室内太阳辐射的透过率

由表 3 看出日光温室室内太阳辐射透过率在 14% ~ 80% 之间, 无论什么季节在一日内都是早晚较低, 下午 13: 00~ 14: 00 达到最大, 这可能是因为早晚太阳高度角较小, 中午前后太阳高度角大造成的; 但是, 每日太阳辐射早晚的透过率在不同季节存在较大差异, 即春秋季节

3.2.3 日光温室内外太阳辐射的关系

设日光温室内的太阳辐射量为  $y$ , 室外的太阳辐射量为  $x$ , 对两者进行回归相关分析, 其相关系数秋、春、

表 4 各季不同天气条件下日光温室内外总辐射的相关性

Table 4 Correlation between radiation inside and outside solar greenhouse in different weather conditions in each season

季节及天气条件	回归方程式	$r$	$r_{0.01}$	$F$	$F_{0.01}$	样本容量 $n$
秋晴	$y = - 4. 1362 + 0. 7500x$	0. 9930**	0. 708	688. 94**	10. 04	12
秋阴	$y = - 2. 3825 + 0. 7021x$	0. 9979**	0. 708	2396. 47**	10. 04	12
秋雨	$y = - 0. 7369 + 0. 6400x$	0. 9977**	0. 708	2125. 23**	10. 04	12
冬晴	$y = - 34. 9967 + 0. 8671x$	0. 9467**	0. 798	60. 42**	12. 25	9
冬阴	$y = - 21. 2368 + 0. 7079x$	0. 9810**	0. 798	255. 72**	12. 25	9
冬雪	$y = - 19. 9333 + 0. 7118x$	0. 9268**	0. 798	42. 64**	12. 25	9
春晴	$y = - 46. 1988 + 0. 7612x$	0. 9925**	0. 684	721. 70**	9. 65	13
春阴	$y = - 13. 7166 + 0. 7424x$	0. 9958**	0. 684	1289. 33**	9. 65	13
春雨	$y = - 9. 0319 + 0. 6844x$	0. 9950**	0. 684	989. 19**	9. 65	13

冬各季不同天气条件下都在 0.9268 以上, 均达到极显著水平, 说明各季不同天气条件下日光温室内的太阳总辐射量是依室外的太阳总辐射量的变化而变化的, 且两者之间存在极显著相关性, 结果见表 4。从表 4 可以看出, 各季不同天气条件下日光温室内的太阳总辐射量与室外的总辐射量可以用直线回归方程 ( $y = a + bx$ ) 来拟合, 对直线回归方程进行  $F$  测验均达到 0.01 极显著水平, 说明用该回归方程进行拟合是真实的; 通过表 4 中的回归方程可以根据室外的太阳辐射量估算出各季

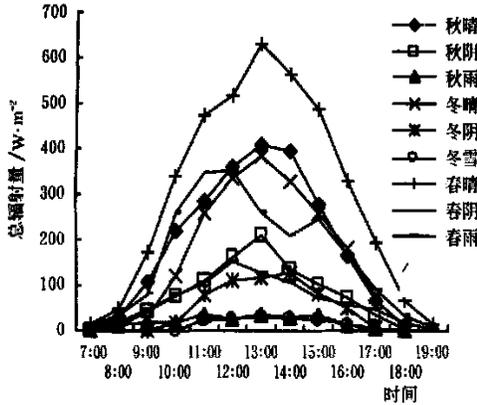


图 2 各季不同天气条件日光温室总辐射的日变化

Fig 2 Daily change of radiation inside solar greenhouse under different weather conditions in each season

根据各季节不同天气条件下日光温室太阳总辐射量的日变化趋势, 通过对一日内(早上外覆盖物揭开之后, 傍晚外覆盖物覆盖之前)太阳总辐射值 ( $y$ ) 与时间 ( $x$ ) (北京时) 的关系进行回归分析, 得出二次曲线回归拟合方程(见表 5)。对方程作显著性检验, 其相关系数  $r > r_{0.01}$ , 表明所得的各季不同天气条件下日光温室

不同天气条件下日光温室内的太阳辐射量。

### 3.2.4 日光温室太阳总辐射的日变化

图 2 为各季晴、阴、雨雪天日光温室中央 2 m 高处太阳总辐射的日变化曲线, 从图中可以看出: 不论天气条件如何, 均以春季的太阳总辐射值最大, 秋季的次之, 冬季的最低; 在各季节中, 均以晴天的太阳总辐射值最大, 阴天的次之, 雨雪天的最低。这与室外太阳总辐射的变化趋势相一致(见图 3)。

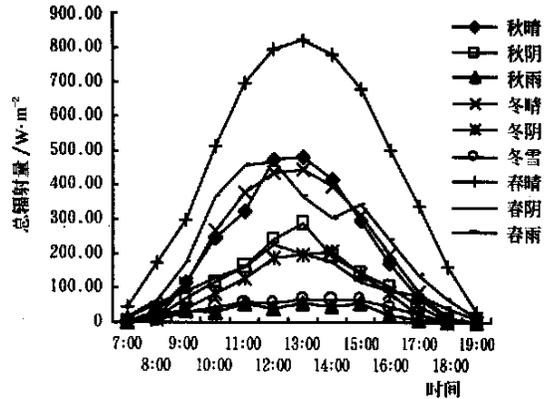


图 3 各季不同天气条件室外太阳总辐射的日变化

Fig 3 Daily change of radiation outside solar greenhouse under different weather conditions in each season

内日太阳总辐射量与时间(北京时)的拟合方程具有较高的拟合度, 可以用来进行预测, 即通过表 5 中的二次曲线方程可以估算出各季不同天气条件下日光温室任一时刻(早上外覆盖物揭开之后, 傍晚外覆盖物覆盖之前)的太阳总辐射量。这与贺芳芳、吴元中在玻璃温室获得的研究结果相类似<sup>[15]</sup>。

表 5 日光温室各季不同天气条件总辐射随时间变化关系

Table 5 Correlation between radiation and time within solar greenhouse in different weather conditions in each season

季节及天气条件	二次曲线方程	$r^2$	$r$	$r_{0.01}$	样本容量 $n$	变数 $m$
秋晴	$y = -12.906x^2 + 173x - 232.38$	0.8984	0.9478**	0.708	12	2
秋阴	$y = -5.402x^2 + 72.732x - 1010$	0.8255	0.9086**	0.708	12	2
秋雨	$y = -1.1047x^2 + 14.206x - 13.701$	0.8516	0.9228**	0.708	12	2
冬晴	$y = -19.52x^2 + 279.18x - 649.2$	0.9686	0.9815**	0.798	9	2
冬阴	$y = -7.6289x^2 + 109.11x - 274.4$	0.9382	0.9686**	0.798	9	2
冬雪	$y = -1.8609x^2 + 26.762x - 67.769$	0.8807	0.9385**	0.798	9	2
春晴	$y = -16.588x^2 + 233.38x - 293.21$	0.9156	0.9869**	0.684	13	2
春阴	$y = -8.7381x^2 + 119.02x - 121.84$	0.815	0.9028**	0.684	13	2
春雨	$y = -3.3979x^2 + 46.513x - 47.357$	0.8505	0.9222**	0.684	13	2

### 3.3 日光温室光照度的空间分布

由表 6、表 7 可见, 日光温室光照的分布因天气条件各有不同, 而且不同部位的光照差异也很大。无论是晴天还是阴天, 在南北水平方向, 由温室南沿至后墙(北墙), 光照度逐渐减少, 近后墙处最低; 如果以中柱为界, 可以把室内分为前部强光区和后部弱光区, 在强光区内, 在中柱前 1 m 至温室前沿, 是光照度最好的区

域。在东西方向, 因东西山墙的影响, 除早晚分别在东西两端形成两个三角形的弱光区外, 中午前后光照度在东西方向上分布较为均匀。温室中部是全天光照度最好的区域。日光温室垂直方向的光照度, 以上层最高, 中层次之, 下层最低。不同部位光照度的差异是造成温室局部温差的主要原因, 也是导致温室作物生长不一致的主要原因。

表 6 阴天日光温室室内光照度的空间分布

Table 6 Space distribution of light intensity within solar greenhouse in overcast weather condition klx

观测位点	距西墙/m			距东墙/m		
	3.4	6.4	19.5	6.4	3.4	
北墙跟	距地面 1 m	1.52	1.44	1.34	1.35	1.42
距北墙 1.7 m	距地面 2 m	5.77	3.89	3.44	3.88	3.90
	距地面 1 m	5.58	4.39	3.80	3.96	3.50
	距地面 5 cm	2.44	2.50	2.14	2.01	3.00
距北墙 4.1 m	距地面 2 m	7.42	7.14	6.90	7.53	7.90
	距地面 1 m	7.19	6.79	6.48	6.55	6.90
	距地面 5 cm	4.12	3.05	2.76	3.39	3.30
距北墙 6.5 m	距地面 2 m	7.92	7.3	7.48	7.83	8.60
	距地面 1 m	7.36	7.19	6.95	7.45	7.70
	距地面 5 cm	4.54	3.87	3.49	2.31	3.70

注: 测定日期: 2000 年 11 月 18 日, 时间: 12: 20, 地点: 水利部农田灌溉研究所。

表 7 晴天日光温室室内光照度的空间分布

Table 7 Space distribution of light intensity within solar greenhouse on clear day klx

观测位点	距西墙/m			距东墙/m		
	3.4	6.4	19.5	6.4	3.4	
北墙跟	距地面 1 m	4.89	5.31	5.25	4.56	5.21
距北墙 1.7 m	距地面 2 m	9.55	8.90	9.02	10.57	9.89
	距地面 1 m	10.27	10.89	10.30	11.11	10.47
	距地面 5 cm	7.39	5.66	5.66	7.09	7.34
距北墙 4.1 m	距地面 2 m	17.78	17.56	17.68	18.50	17.95
	距地面 1 m	16.38	16.25	16.23	16.51	15.23
	距地面 5 cm	6.58	7.59	5.81	8.42	7.50
距北墙 6.5 m	距地面 2 m	18.50	18.20	18.40	18.80	18.70
	距地面 1 m	17.13	17.25	16.79	17.22	17.03
	距地面 5 cm	7.99	10.48	9.12	6.03	8.02

注: 测定日期: 2000 年 12 月 16 日, 时间: 12: 30, 地点: 水利部农田灌溉研究所。

#### 4 结论与讨论

1) 日光温室内的光照时数在秋季为 9.0~10.5 h, 冬季为 7.5~9.0 h, 春季为 9.5~11.5 h, 均小于 12.0 h。为了延长光照时间, 在可能的范围内尽量早揭晚盖草苫或棉被等外覆盖物; 阴天和寒冷的冬天, 只要揭开外覆盖物时不造成冻害就要揭开见光; 必要的时候可以进行人工补光。

2) 日光温室室内太阳辐射透过率在 14%~80% 之间, 因此, 除选择好方位与屋面角外, 在日光温室设计中, 应尽量使用强度大, 断面积小的建材, 尽量避免使用较粗大的横梁和立柱, 减少遮光; 同时应选用透光率高, 抗污染能力强, 保温性能好, 耐候性良好的无滴膜, 保证

温室具有良好的采光和保温性能; 也可通过增加反光材料, 调整作物布局改善温室内的光照条件。

3) 各季不同天气条件下日光温室内的太阳总辐射量与室外的太阳总辐射量、日光温室内的太阳总辐射量与时间均存在显著的相关关系, 这与贺芳芳、吴元中在玻璃温室获得的研究结果相类似<sup>[15]</sup>。据此可以对各季不同天气条件下、不同时间日光温室内的太阳辐射量进行估算, 为合理进行日光温室的光照管理提供参考。

4) 日光温室室内, 光照度的分布明显存在着空间上的差异, 此与刘克长等人的研究结果相一致。据此可以在水平、垂直空间上合理安排作物, 形成合理的群体结构, 充分利用日光温室内的空间。

#### [参 考 文 献]

- [1] 刘克长, 等. 山东日光温室透光性能的实验研究[J]. 中国农业气象, 1999, 20(4): 34~37.
- [2] 孙治强, 等. 黄淮改良型日光温室的设计与性能研究[J]. 农业工程学报, 1996, 12(2): 41~47.
- [3] 陈正法, 梁称福, 黄小平. 四湖地区节能日光温室结构和原理[J]. 农业工程学报, 2000, 16(1): 75~78.
- [4] 郑光华. 美国设施农业发展概况[J]. 世界农业, 1999, (3): 13~16.
- [5] 顾寄南, 等. 国内外设施栽培综合环境控制技术及其进展[J]. 农业现代化研究, 1999, (3) 184~186.
- [6] Shaheen A M, Helal R M, Omar N M, et al. Seedling production of some vegetables under plastic houses at different levels of light intensities[J]. Egyptian Journal of Horticulture 1995, publ 1996, 22(2): 175~192.
- [7] 陈贵林. 我国设施农业的现状与展望[J]. 科技导报, 1999, (1): 23~25.
- [8] 王松涛, 冯广和, 陈端生. 论我国设施园艺建设的宏观管理[J]. 农业工程学报, 1999, 15(1): 153~158.
- [9] 王耀林. 韩国的设施农业[J]. 世界农业, 1994, (9): 25~26.
- [10] 申茂向, 何革华, 张平. 荷兰设施农业的考察与中国工厂化农业建设的思考[J]. 农业工程学报, 2000, 16(5): 1~7.
- [11] 赵军, 王立法. 发达的荷兰设施农业[J]. 世界农业, 1999, 7: 16~17.
- [12] Mauroicale G, Davino M, Nucifora S, et al. Effects of mulching with polyethylene sheets of different characteristics on infestation by Bemisia tabaci, TYLCV infection and yield of tomato grown in greenhouses[J]. Colture-Protette, 1996, 25: 6, 73~79.
- [13] 韩世栋. 蔬菜冬暖型日光温室建造和高效栽培技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996: 11.
- [14] 张真和. 高效节能日光温室园艺[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 12.
- [15] 贺芳芳, 吴元中. 玻璃温室室内植物层中总辐射分布规律[J]. 气象, 2001, 27(2): 25~28.

## Light characteristics and its changing laws in solar greenhouse

Gao Qinglu<sup>1</sup>, Liang Yunjuan<sup>1</sup>, Duan Aiwang<sup>2</sup>

(1. Henan Vocational Technical Teachers' College, Xinxiang 453003, China; 2. Farmland Irrigation Research Institute, Ministry of Water Resources, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Xinxiang, 453003, China)

**Abstract** The seasonal and daily changing laws of light time, solar radiation, transmission rate of solar radiation and the space distributing laws of solar radiation inside solar greenhouse were studied. Regression analysis of the correlation between solar radiation inside and outside greenhouse, solar radiation inside greenhouse and time under different weather conditions in each season was made and the corresponding regression equations were developed. By these equations, the solar radiation inside greenhouse at any time under different weather conditions in each season can be calculated and analyzed.

**Key words:** solar greenhouse; light characteristics; changing laws