

玻璃温室内植物层中总辐射分布规律^①

贺芳芳 吴元中

(上海市气象科学研究所, 上海 200030)

提 要

在对上海地区荷兰玻璃温室中黄瓜植物层内进行总辐射观测的基础上, 研究秋、冬、春末夏初三个季节内晴天、阴天温室中黄瓜植物层内总辐射的分布规律。

关键词: 总辐射 分布规律 玻璃温室

引 言

1996年上海市从荷兰引进了体现当今温室栽培先进水平的现代化玻璃温室。温室内温、湿可控, 采集自然光。作物是无限生长型的, 在此环境下, 光是影响植株生长发育的主要环境因子, 蔬菜的产量与植株所受的光能有关, 因此摸清植物层中总辐射的分布规律, 可为栽培管理及改进植物的种植方式提供合理的依据, 最后达到按作物生长需求充分利用光能的目的。本文分析了秋、冬、春末夏初三个季节内晴天、阴天温室中黄瓜冠层顶上方总辐射的日变化、黄瓜植物层内总辐射的衰减规律及秋季透光率的日变化。

1 观测设计

温室(地处上海东海农场)面积为 1hm^2 , 中间有南北、东西二个走道把温室均匀分成四个种植区, 采用基质栽培方式(盆栽)成行种植黄瓜, 栽培系统为“V”系统, 两行基部之间距离为 1.6m , 顶部植株茎与茎之间的距离约 0.8m , 每盆水平种 $2\sim 3$ 株, 植株高度接近 2.8m (见图1)。种植黄瓜的品种为荷兰引进的, 每株黄瓜约有25片叶片左右, 叶片为大叶型, 大多呈水平方向, 这样使得行与行之间的空隙大多被叶片充实, 进入这种种植结构植物层中的太阳光能大部分经过叶片层层

吸收、反射, 被削弱; 还有一小部分的光能透过叶片之间的空隙直接到达地面。

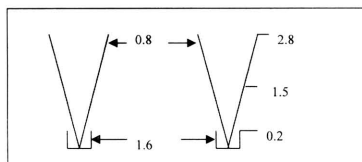


图1 温室内成行黄瓜的栽培结构

(图中V字表示植株茎的位置, 单位m)

室中黄瓜从移栽至长到冠层顶(接近 2.8m)只有半个月左右的时间, 此时开始打顶, 不让黄瓜向上长。此后到换茬要3个月左右的时间, 黄瓜产收主要在这个阶段, 所以, 我们主要分析这段时间内黄瓜植物层内的光辐射分布特征及消光系数的变化情况。

1.1 观测高度

我们分别观测到达冠层顶上方(2.8m)的总辐射及中间(1.5m)、基部(0.2m)植被下的总辐射, 中间及基部各测2个值, 在单行侧边及两行中间各测一个值(见图1位置, 单行侧边之值取两个侧边之平均), 这样可以比较单行侧边及两行中间光能的削弱程度。

1.2 观测时间

^① 本文受上海市农委重点攻关课题《温室环境条件规律揭示和气候生态调控指标的开发》资助。

黄瓜一年种植3茬,秋、冬、春各种一茬。我们在秋、冬、春末夏初三个季节,各进行晴天、阴天黄瓜植物层内的辐射观测,从日出以后到日落以前每隔1小时观测一次。

1.3 观测步骤

我们用荷兰进口的天空辐射仪进行黄瓜植物层内总辐射的巡回观测,每个点观测时进行水平调整并记下观测时间(精确到分),3个点的巡回观测时间不超过10分钟,一天观测结束后,将一天3个点的观测数据点在同一张图表上,X轴为北京时(精确到分),Y轴为总辐射值,作出3个点的日变化曲线,然后在3条曲线上读出各正点上、中、下3个点的值,这样就订正了巡回观测引起的的时间误差。晴天、阴天各观测2~3天,然后取干扰因素较小的一天观测资料来分析晴天、阴天黄瓜植物层内总辐射的变化情况。这里的“干扰因素”主要指天空云的变化,因为晴天,天空不一定全是碧空,有时天空有一层薄薄的高层云,影响总辐射的大小;阴天,有时云薄有时云厚,也影响总辐射的大小。在我们所选用的

资料中,晴天没有云的影响,阴天云层较稳定。

2 冠层顶上方总辐射的日变化

图2为各季晴天、阴天冠层顶上方总辐射的日变化曲线,从图中可看出:春末夏初总辐射值最大,秋季次之,冬季最小,这跟外界太阳总辐射的年变化一致。

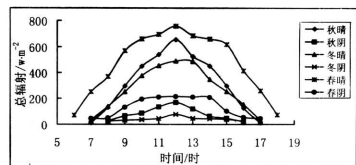


图2 温室内各季晴天、阴天冠层上方总辐射的日变化

各季总辐射的日变化与外界太阳总辐射也一致,呈抛物线形状,根据非线性回归分析法^[1]计算出各季冠层上方一日内(日出以后,日落以前,不包括日出日落)总辐射之值(y)随时间(x)(北京时)变化的二次曲线关系式(见表1)。

表1 各季冠层上方一日内总辐射随时间变化关系式

季节及天气状况	二次曲线方程	复相关系数	F 变量之值	$F_{0.01}$ 之值	n	m
秋晴天	$y = -17.061x^2 + 409.28x - 1947.6$	0.9326	26.745	7.21	11	2
秋阴天	$y = -5.4681x^2 + 129.93x - 650.36$	0.9131	15.039	8.02	9	2
冬晴天	$y = -13.731x^2 + 329.711x - 1555.6$	0.9523	38.918	7.21	11	2
冬阴天	$y = -2.1704x^2 + 52.42x - 261.05$	0.9193	16.380	8.02	9	2
春晴天	$y = -15.916x^2 + 383.24x - 1604.9$	0.9822	137.04	6.70	13	2
春阴天	$y = -6.2019x^2 + 148.61x - 690.73$	0.9423	31.714	7.21	11	2

从表1可见,给定显著性水平 $\alpha = 0.01$, $F \geq F_{0.01}$,这说明表中二次曲线的非线性回归效果非常显著,各季晴天、阴天冠层上方一日内总辐射之值与时间(北京时)的关系用二次曲线方程即可得到较为满意的描写。通过表1中的二次曲线方程我们可以估算出冠层上方在各季晴天、阴天任一时刻(日出以后,

日落以前)总辐射之值。

3 植物层中总辐射的衰减规律

植物层中总辐射的衰减与植株叶片的面积、排列方向、密集程度及吸收率有关,黄瓜吸收率达52%^[1],在各种植物中其吸收率是比较大的。

3.1 植物层中总辐射的垂直分布特征

从各季晴天、阴天各时刻植物层内总辐射的观测值来看,普遍存在一个规律:1.5~2.8m层总辐射迅速被递减,往下递减速度就缓慢下来。这跟黄瓜的“V”字栽培系统有关,它与植物生长的顶端优势共同作用,使上层叶子长势较好,叶片挺拔、密集,吸收太阳光能较多,而下层叶片稀疏,有的已枯黄,吸收太阳光能较少,故形成以上规律。从秋、冬、春各季12时2.8m、1.5m及0.2m总辐射之值($w \cdot m^{-2}$)可看出以上规律(表2),其它观测数据略。

表2 各季12时2.8m、1.5m及0.2m

总辐射量/ $w \cdot m^{-2}$

高度/m	秋季		冬季		春末夏初	
	晴	阴	晴	阴	晴	阴
2.8	653.8	168.6	489.7	77.4	756.3	214.1
1.5	两行中间	91.1 52.4	123.0 22.8	186.8 113.9		
	单行侧边	104.8 66.1	116.2 20.5	166.3 79.7		
0.2	两行中间	45.6 27.3	75.2 13.7	148.1 54.7		
	单行侧边	54.7 34.2	61.5 11.4	141.2 38.7		

3.2 植物消光系数的变化规律

温室黄瓜植物层内的光辐射由两部分组成,一部分光透过叶片间隙到达地面,这部分光主要是直射光,另一部分光经过叶片层层吸收、反射而衰减下来,这部分光是散射光。我们观测的是黄瓜植物层内叶片下的总辐射值,此时得到黄瓜植物层内的总辐射是散射辐射,总辐射在植被中的衰减可用 Beer-Lambert 消光定律^[2]来确定

$$S_y = S_0 e^{-\alpha F(y)} \quad (1)$$

式中 S_0 为冠顶上方的总辐射值, S_y 为冠顶向下 y 米这一高度上植被下的总辐射值, α 为植物的消光系数, $F(y)$ 为冠顶向下累积的叶面积指数(每单位地面上的总叶面积),它是冠顶向下计算的距离 y 米的函数,本文假定 $F(y)$ 随高度变化是线性的。

$F(y)$ 的近似计算步骤如下:

①先用重量法统计出一片黄瓜叶面积

$$A_1 = 7.183213 + 0.5948505 \times \text{叶宽}^2。$$

②均匀选择几株,测定每株上叶片的宽度,根据以上公式求出每株的叶面积总和,然后通过它们的平均值得出一株的叶面积总和 A_2 。

③每单位地面上的总叶面积 $A_3 = A_2 \times$ 温室内总株数/(1公顷—道路面积)。

$$④ F(y) = A_3 \times y / 2.8。$$

通过式(1)及 $F(y)$ 的计算,我们就可以求出植物某一层内的消光系数,从各层消光系数的变化规律中反映出植物层中光能衰减的规律。

本文通过冠顶上方(2.8m)测定的总辐射及中间(1.5m)、基部(0.2m)植被下测定的辐射值(单行侧边及两行中间各有两个值),再求出1.5~2.8m、0.2~2.8m这两层的 $F(y)$ 之值,运用公式(1)则能得到各季晴天、阴天温室中植物层内1.5~2.8m、0.2~2.8m(分单行侧边及两行中间)这两层消光系数的随时间(北京时)变化规律(见图3)。

从图3中可看出:秋冬季晴天、阴天消光系数的日变化的规律:日出后消光系数随时间略有增加,中午一段时间(11~13时)达最大,以后随时间又略有减小。造成这种分布规律的原因是:秋季气候比较爽朗,温、湿度基本在黄瓜适宜生长的范围内,冬季温室内人工加温,温、湿度大多控制在黄瓜适宜生长的范围内,这两季黄瓜长势很好,叶子坚挺,叶片大多呈水平方向,又由于叶片为大叶型,吸收率高,光能大多被吸收,越接近中午,光能越强,叶片吸收的越多,从叶片透射下来的光能相对就少,消光系数就大。秋冬季晴阴天消光系数略有不同的是:秋季两行中间的消光系数略大于单行侧边的消光系数,冬季则相反。这是因为:秋季两行中间的叶片比单行之中的叶片略密,而冬季单行中的叶片比两行中间的叶片略密,为此造成以上的不同。

春末夏初晴天、阴天消光系数的日变化

与秋冬季相反:日出后消光系数随时间略有减小,中午一段时间(11~13时)达最小,接着随时间又略有增加。这也与此时黄瓜的叶片长势有关,此时温室内温高湿大,叶子没有秋冬季坚挺,叶片略有下倾,早上及傍晚下倾叶片对四面斜射到它上面的太阳光的反射及

吸收的能力比中午直射到它上面的太阳光的反射及吸收的能力强,这就使得中午的消光系数比早上及傍晚小。同时,由于此时也是单行中的叶片比两行中间的叶片略密,故单行侧边的消光系数略大于两行中间的消光系数。

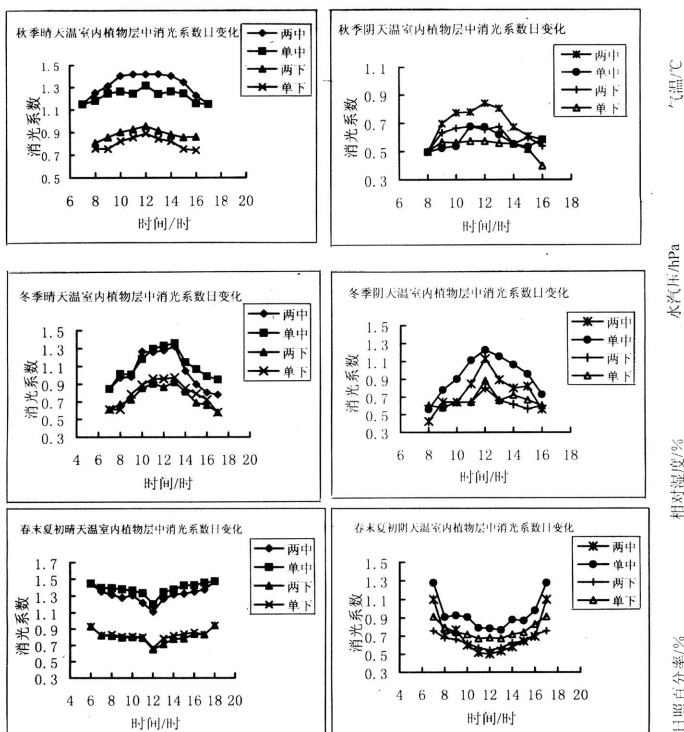


图 3 各季晴天、阴天温室内植株中消光系数日变化曲线

两中:1.5~2.8m 的两行中间,单中:1.5~2.8m 的单行侧边

两下:0.2~2.8m 的两行中间,单下:0.2~2.8m 的单行侧边

(下转封二)

(上接第 28 页)

4 秋天晴天植物层中透光率的日变化

前面提到进入植物层中的太阳光有一小部分的光能透过叶片之间的空隙直接到达基部形成光斑,单位面积上光斑面积占地表面积的比例称为透光率。在 1999 年 10 月 5 日(晴天无云),黄瓜长到冠顶(接近 2.8m),我们逐时测定了从日出到正午植物层基部透光率的变化(正午~日落前与正午~日出后是对应的),我们能推算出从正午到日落前透光率的大小(见图 4)。由于温室中黄瓜是成行基质栽培,营养液灌溉,长势十分均匀,故我们只测一个点的透光率,它能代表温室中黄瓜植物层的透光率。

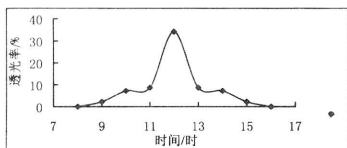


图 4 晴天温室中黄瓜植物层基部透光率的日变化(1999 年 10 月 5 日)

从图 4 中可看出,日出后透光率随时间(北京时间)增加,正午达最大,从正午到日落前透光率逐渐减小。这种变化规律与农田中透光率的日变化是一致的,都是由太阳高度角改变而引起太阳光线在植被中通过的距离改变所造成的^[1],正午透光率比其它时刻大的多,因为此时

光线在植被中通过的距离最短,同时太阳光直射到“V”字型栽培系统,由于基部行宽有 1.6m,光线易从叶片空隙透过到地面。

在秋季的不同时期内,由于太阳高度角和方位角相近,黄瓜植物层内的透光率可近似参考图 4 的测值,其它季节须重新测定透光率。

5 小 结

(1)冠顶上方总辐射日变化曲线为抛物线型,其变化规律与太阳辐射变化规律一致,得出一日内冠顶上方总辐射与时间(北京时间)变化的二次曲线关系式。

(2)1.5~2.8m 这一层总辐射削弱很迅速,往下就减缓,这与黄瓜的“V”字栽培系统有关。

(3)秋冬季植物中消光系数都是中午大,早上和傍晚小,春末夏初则相反;秋季两行植株中间的消光系数比单行侧边小,冬春则相反。这些与叶片的排列方向及密集程度有关。

(4)晴天植株中的透光率规律为日出后随时间(北京时间)增加,正午最大,随后又逐渐减小,这主要与太阳高度角的变化及“V”字栽培系统有关。

参考文献

- 1 屠其璞等,气象应用概率统计学,北京:气象出版社,1984:222~291.
- 2 傅抱璞等,小气候学,北京:气象出版社,1994:347~373.

Distribution of Global Radiation in Dutch Glass-Greenhouse in Shanghai

He Fangfang Wu Yuanzhong

(Shanghai Meteorological Research Institute, Shanghai 200030)

Abstract

Distribution of global radiation was studied on the base of global radiation observation within the crop layer of cucumber in Dutch glass-greenhouse on a fine and overcast day in autumn, winter, late spring and early summer in Shanghai.

Key Words: global radiation radiation distribution Dutch glass-greenhouse