

日光温室内黄瓜群体结构参数分析

白青¹, 王利², 张亚红¹, 崔海¹

(1. 宁夏大学农学院 宁夏 银川 750021; 2. 宁夏医学院基础部 宁夏 银川 750004)

摘要:日光温室由于其特殊的光环境, 黄瓜群体结构也具有一定的特殊性, 试验观测了日光温室内南北部的光环境及黄瓜不同生育时期的群体结构参数。结果表明: 日光温室内南部的辐射强度明显高于北部, 黄瓜的叶倾角、叶方位角、叶面积指数、叶面积密度等黄瓜群体结构因素在不同时期有明显的变化。植株南面叶片的叶倾角大于植株北面叶片的叶倾角。在整个生育期黄瓜以 $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 叶倾角的叶片为分布主体。植株南面方位角分布频率也高于植株北面的方位角分布频率。叶面积指数和叶面积密度在生育前期上升, 后期下降, 这些变化与差异对黄瓜群体内的辐射分布有重要影响, 所以此结果为探讨日光温室内的黄瓜群体结构与群体内辐射分布的关系和建立群体内辐射分布的数学模型奠定了基础。

关键词: 黄瓜; 日光温室; 群体结构

中图分类号: S 642.226.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2008)05-0075-05

日光温室是一种一面进光、三面有保温墙的温室。其内部环境也不同于全光的连栋温室。植物的向光性决定了日光温室内的黄瓜群体结构具有一定的特殊性。张亚红等^[1]对日光温室内的黄瓜群体结构做了初步研究。随着设施园艺的发展, 日光温室已经成为我国北方的主要保护地设施, 在国民经济中发挥着重大作用, 所以研究日光温室内作物的群体结构对科学合理的利用日光温室有重要意义。

20世纪50年代许多国家的学者对作物的群体结构、群体结构与光能分布、群体结构与群体光合的关系等作了大量研究, 如日本的门司正三、佐伯敏郎、黑岩澄雄、中国的殷宏章、王天铎等人, 苏联的 Ross、英国的 Monteith、Dewit、Wilson J. Warren、Iomis 等人都提出了各自描述群体结构的参数与群体内辐射分布的模式。20世纪90年代中期以来国外学者开始研究全光温室内的作物群体结构以及建立温室作物生长、温室作物环境及其控制模型^[1]。Yang X., Thevenard 等^[2,4]在研究全光温室作物群体结构的基础上, 建立了温室黄瓜行内太阳辐射传输模型, 但国内对日光温室内的作物的群体结构的相关研究较少。在温室设施中, 温室为作物提供了可以避免外界不理想因素的可控环境, 要建立温室内许多数学模型都需要群体结构参数, 群体结构参数是建立各

种数学模型的基础, 所以植物群体结构及其与冠层小气候的关系一直是植物生态与农业气象学的一个重要课题^[5]。由于日光温室结构的特殊性, 作物的群体结构参数也具有一定的特殊性, 试验将提供日光温室内的黄瓜群体结构的参数, 为探讨日光温室内的黄瓜群体结构与群体内辐射分布的关系奠定基础。

1 试验方法

1.1 温室概况

试验日光温室位于宁夏吴忠市国家农业科技示范园区 ($38^{\circ}00'07''N$, $106^{\circ}13'19''E$)。温室坐北朝南, 东西延长, 长度 35 m, 跨度 7 m, 后墙高 2.2 m, 脊高 3.3 m, 东西山墙及北墙为 1 m 厚的砖砌墙。温室前屋面采用 PVC 长寿无滴膜, 夜间前屋面覆盖蒲苫保温。

1.2 试验设计

1.2.1 黄瓜群体结构 供试黄瓜品种为博耐 13-b, 采用双行栽植, 株距 35 cm, 小行距 30 cm, 大行距 120 cm, 行向由北向南。于 2006 年 2 月 14 日定植。将双行黄瓜由北向南平均分成北(a)、中(b)、南(c)3段, 每小段选择 6 株进行观测, 从 2007 年 3 月 26 日开始每隔 3~5 d 观测 1 次。黄瓜植株的观测项目: 株高(H)、叶片数(n)、叶长(L_L)、叶宽(W_L)、叶倾角(θ)、方位角(φ_L)等。

1.2.2 温室内太阳总辐射、土壤水分测定 采用 Campbellsci 公司 CR10X-2M 数据采集器及太阳总辐射、土壤水分探头采集太阳辐射及土壤湿度数据, 每隔 10 min 采集 1 次。温室内南、中、北 3 个点, 中点位于温室正中央, 南点和北点分别位于中点的南北方向 1 m 处, 离地高度为 50 cm。

1.3 原理与方法

第一作者简介: 白青(1982), 男, 回族, 宁夏同心县人, 硕士, 研究方向为设施园艺环境研究。E-mail: bai.qing@y.ahoo.com.cn.

通讯作者: 张亚红。Email: yzhzcai@sina.com.

基金项目: 宁夏自然科学基金资助项目(2006)。

收稿日期: 2007-11-30

1.3.1 叶倾角(θ_L)、方位角(φ_L) 叶倾角(θ_L)是指叶片法线方向与垂直轴的夹角;叶方位角(φ_L)是指法线在水平面的投影与正北方向的夹角。叶倾角和叶方位角通称叶角,它是作物群体结构的重要参数,作物群体光分布和传递都以叶角为基础。计算叶角的分布频率就可

以了解叶的空间分布^[9],将叶方位角(φ_L)在 $0\sim 2\pi$ 范围、叶倾角 θ_L 在 $0\sim \pi/2$ 范围划分不同区域。将 φ_L 划分为8个方位:即由正北开始,沿顺时针方向, $0\sim 45^\circ$ 记为方位I(东北偏北面), $45^\circ\sim 90^\circ$ 记为方位II(东北偏东面),……, $315^\circ\sim 0^\circ$ 记为方位VIII(西北偏北面),如表1所示。

表1 叶方位角的划分

范围/ $^\circ$	0~45	45~90	90~135	135~180	180~225	225~270	270~315	315~0
方位号	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
方位名	NNE 东北偏北	ENE 东北偏东	ESE 东南偏东	SSE 东南偏南	SSW 西南偏南	WSW 西南偏西	WNW 西北偏西	NNW 西北偏北

1.3.2 叶面积指数的求算 计算单位叶面积(S_L):采用黄瓜叶面积活体测量法,由叶长(L_L)、叶宽(W_L)相关关系,以经验公式 $S_L=0.5 W_L \times L_L+0.25 \times W_L^2$ 求算单位叶面积,每次测量时,选代表性植株18株,由基部至冠层测量叶片,以及算出不同时期平均单株叶面积(S_A)。求温室植株密度(N): $N=(\text{每行株数} \times \text{行})/[\text{温室长} \times (\text{温室宽}-\text{道路宽})]$ 。

以后黄瓜植株北面的叶片开始下垂,叶倾角逐渐增大,而南面的叶倾角没有明显的变化。

1.3.3 叶面积密度 $f(z)$ 的计算 求不同时期平均株高(H),平均叶面积密度 $f(z)=LAI/H$ 。

2.2.2 各方位平均叶倾角 将黄瓜整个生育期的叶倾角按不同方位平均,得图3。由图3可知,温室内的黄瓜群体平均叶倾角明显的向南倾斜。若以东西($90^\circ\sim 270^\circ$)为界线将方位分成南(III、IV、V、VI)、北(I、II、VII、VIII)两组,植株南面平均叶倾角为 36.20° ,北面为 24.90° ,南北两面叶倾角相差 11.30° 。若以南北($0^\circ\sim 180^\circ$)为界线将方位分成东(I、II、III、IV)、西(V、VI、VII、VIII)两组,植株东面平均叶倾角为 29.73° ,西面为 31.32° ,东西两面平均叶倾角相差 1.59° 。所以植株东西面分布的叶片的叶倾角差别不大,而南北方位分布的叶倾角差别较大。

2 结果与分析

2.1 温室内光环境

图1是2007年4月5~7日3日内日光温室中南、中、北3点太阳辐射的日变化图。由图1可知,在日光室内从每日7:00时起,南、中、北3点的太阳辐射强度均呈上升趋势,13:30~14:00时,3点的太阳辐射强度达到最大值,之后呈下降趋势。全天的太阳辐射强度在南北部的分布很不均匀,南部的辐射最强,中部次之,北部最弱。南、中、北3点在间隔相同的情况下平均辐射强度差异较大:南面的平均辐射强度是中部平均辐射的2.43倍,中部辐射强度又是北部的1.85倍。这种特殊的光环境不同于全光温室,所以日光温室内的黄瓜群体结构参数将具有一定的特殊性。

2.2.3 叶倾角与土壤水分的关系 图4是黄瓜整个生育期的平均叶倾角和土壤水分随时间的变化图。从图4可以看出,在结果期(4月23日)以前,叶倾角与土壤水分变化有密切的关系。即叶倾角随土壤水分的升高而降低,这一现象在黄瓜生长旺期最明显。黄瓜体内的含水量决定着黄瓜植株体的萎蔫程度,对叶倾角有明显的影响,土壤水分降低间接导致黄瓜体内含水量下降,叶片的挺立程度也随之下降,使得叶倾角增大。相反,土壤含水量上升会使叶倾角减小。由图4可知,这一影响在黄瓜的衰老期并不明显。

2.2 叶倾角

2.3 方位角

2.2.1 各方位叶倾角随时间的变化 将黄瓜不同时期的叶倾角按不同方位平均,得到不同方位叶倾角随时间的变化情况,如图2所示。由图2可以看出,在3月22日~4月28日植株南面(方位V、VI)的叶倾角总体呈增大趋势,而植株北面(方位I、II)的叶倾角总体呈减小的趋势。28日以后北面(方位I、II)的叶倾角开始呈上升趋势,而植株的东面(方位III、IV)和西面(方位VII、VIII)叶片的叶倾角没有明显的变化趋势。在整个生育期各方位的叶倾角上下波动较大。28日以前是黄瓜营养生长速率最快的时期,由于日光温室太阳辐射分布的不均衡性主要体现在南北方向上,加之植物的向光性,所以植株南面的叶倾角逐渐增大、植株北面的叶倾角逐渐减小、东西面的叶倾角始终没有明显的变化。到4月28日

2.3.1 方位角随时间的变化 将整个方位分成东(方位I、II、III、IV)、西(方位V、VI、VII、VIII)两组,并平均两组内不同时期的方位角,得图5。由图5可知,在黄瓜发育初期植株东面的平均方位角接近 90° ,植株西面平均方位角接近 270° ,说明这时的叶片在整个方位内的分布基本是均匀的。随着时间的推移,至结果期(4月23日),东面的方位角呈明显的上升趋势,而西面呈下降态势。原因是这一时期是黄瓜生长旺期,东面和西面的叶片由于向光性都向南偏转,使东面的方位角变大,西面的方位角变小。到结果后期黄瓜开始进入衰老期,向光性开始减弱,南面叶片开始向北回移,使得东面的叶方位角开始减小,西面的叶方位角增大。

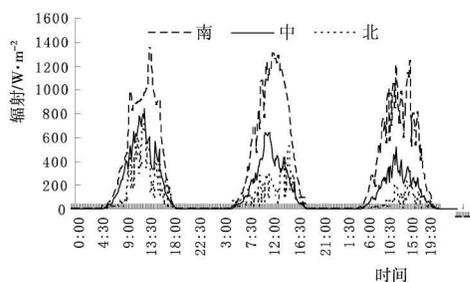


图1 日光温室内南北方向太阳辐射日变化

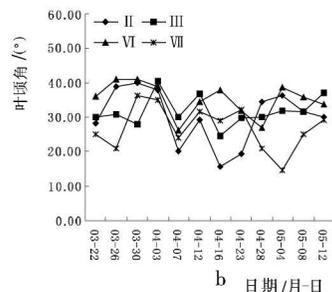
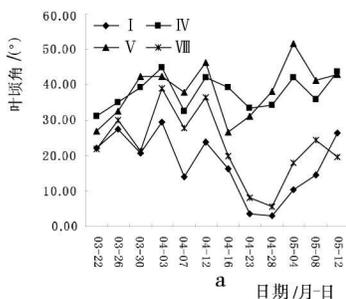


图2 不同方位的叶倾角变化图

2.3.2 各方位的方位角分布频率随时间的变化 将不同时期的黄瓜叶方位角分布频率按不同方位平均, 结果如图6所示。由图6可知, 3月22日至30日各方位的方位角分布频率没有明显的变化, 随着时间的推移, 植株北面(方位I、VIII)的方位角分布频率在3月30日以后明显下降, 降至4月11日以后基本趋于稳定。植株南面(方位V、IV)的方位角分布频率在整个生育期内都持续升高, 只有结果后期(5月5日)开始下降, 因为结果期以前是黄瓜生长旺期, 也是向光性最强的时候。由图6-b可知, 植株东面(方位II、III)的方位角分布频率没有明显变化。而植株西南偏西面(方位VI)的方位角分布频率在整个生育期持续上升, 植株西北偏西面(方位VII)则呈现下降趋势。

2.3.3 黄瓜平均方位角分布频率 将整个生育期的方位角分布频率按不同方位平均, 得图7。由图7可以看出, 温室内黄瓜平均方位角分布频率以植株南面(方位IV、V)偏高, 北面(方位I、VIII)偏低为特点。同样若以 $90^{\circ} \sim 270^{\circ}$ 为界线将整个方位分成南(方位III、IV、V、VI)、北(I、II、VII、VIII)两面, 植株南面平均方位角分布频率为15.86%, 北面为9.16%, 两面相差6.70。若以 $0^{\circ} \sim 180^{\circ}$ 为界线将方位分成东(方位I、II、III、IV)、西(V、VI、VII、VIII)两面, 植株东面方位角分布频率为12.77%, 西面为

12.24%, 相差0.53%, 所以在植株东西面平均方位角分布频率差别不大, 而在南北面平均方位角分布频率差别较大。

2.4 叶角的分布规律

将叶倾角和叶片分布频率分成不同的区间(叶倾角划分6个区间, 叶片分布频率划分4个区间)并和方位、日期做成曲面俯视图, 用来反映叶倾角和方位角分布频率的各个区间在时间和方位上的分布情况。

由图8-a可知, 在黄瓜整个生育期中, 叶倾角较大(在 $40^{\circ} \sim 50^{\circ}$ 之间)的叶片主要分布在植株的南面(方位IV、V、VI), 而叶倾角最小的叶片($0^{\circ} \sim 10^{\circ}$)主要分布在4月23~5月4日之间的植株的北面(方位I、VIII)。叶倾角在 $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 之间的叶片在黄瓜生育期中分布最广, 叶倾角在 $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 和 $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 之间的叶片主要分布在植株的北面(方位I、II、VII、VIII)。

由图8-b可看出各方位不同时期方位角分布频率的分布情况。在3月30日以前, 黄瓜各方位的方位角分布频率主要为12%~16%, 说明各方位的叶方位角分布基本是均匀的。3月30日以后植株北面的方位角分布频率减小为8%~12%, 4月12日以后植株南面(方位IV、V、VI)的方位角分布频率明显升高为16%~20%, 北面的方位角分布频率降至4%~8%。

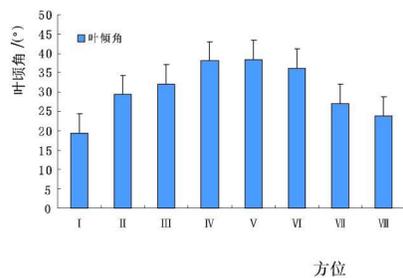


图3 各方位平均叶倾角图

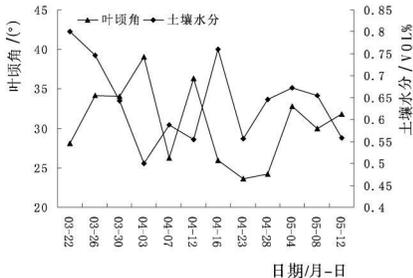


图4 叶倾角与土壤水分的变化图

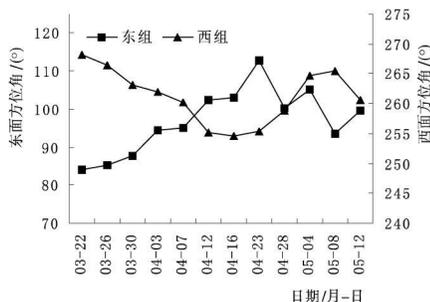


图5 方位角变化图

表2 列出不同时期群体叶面积指数(LAI)与平均叶面积密度($f(z)$)的变化。由表2可见, 黄瓜从抽蔓期(3

月22日)到开花(4月23日)结果期,叶面积指数一直呈上升趋势,开花结果期以前是黄瓜生长旺盛期,也是黄瓜叶片数和叶面积增长最快的时期。开花结果后期下

部叶片衰老摘叶使叶面积指数下降。同样,在开花结果期以前叶面积密度是增加的,后期由于叶面积增加速率小于株高增加速率及老叶的摘除使叶面积密度降低。

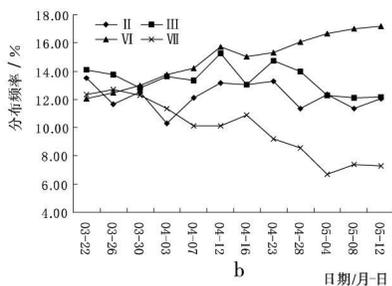
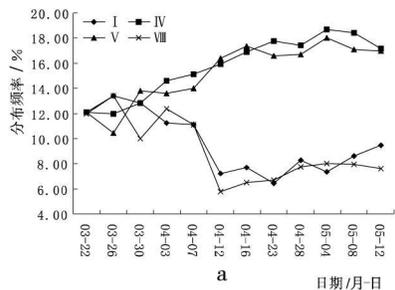


图6 各方位角分布频率变化图

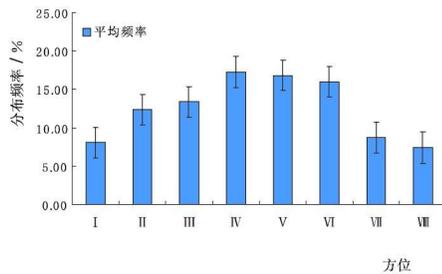


图7 平均方位角分布频率变化图

表2 群体叶面积指数与叶面积密度的变化

月/日	03-22	03-26	04-03	04-12	04-23	05-04	05-12
LAI	0.26	0.40	0.73	1.16	1.68	1.82	1.90
f(z) (m ⁻¹)	0.95	1.05	1.11	1.15	1.18	1.15	1.08

3 结论与讨论

3.1 辐射

温室内的辐射分布为:由南到北辐射依次减弱,即南面辐射最强,北部最弱。这是因为日光温室是一面进

光,三面环的温室,这种特殊的构造使日光温室内的南部辐射强于北部。正是在日光温室内不均衡的辐射强度,使植物器官生长过程中两侧受到不均衡光强或光质照射会产生定向弯曲,这种弯曲主要体现在植株的南北面,这也是植物光形态建成中的一种反应,即向光性(phototropism),所以南北部辐射强度的不均衡性是日光温室内作物群体结构具有特殊性的根本条件。

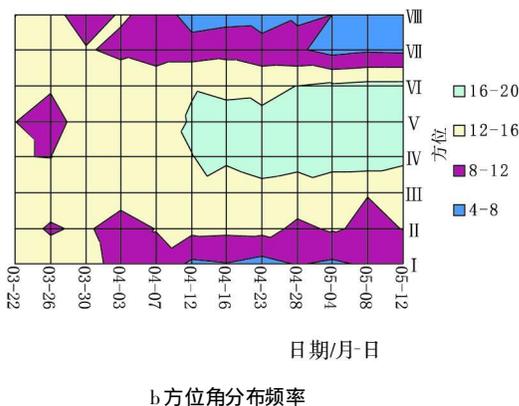
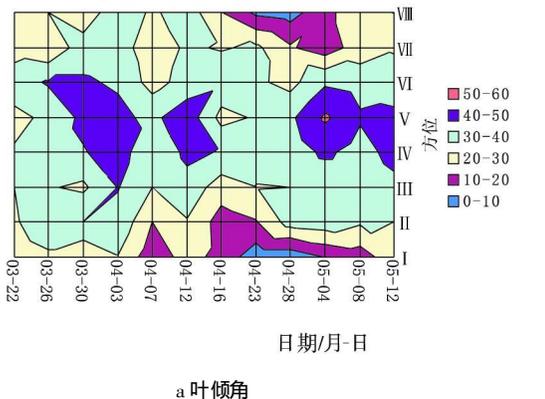


图8 叶角各个区间在时间和方位上的分布情况

3.2 土壤水分

在日光温室内除光照对叶倾角有明显的影响外,土壤水分对叶倾角也具有一定的作用。在一定的程度上,土壤水分降低使得叶倾角增大,土壤水分升高使叶倾角减小。试验中,在观测黄瓜叶倾角时发现,在短时间内叶倾角的变化幅度很大,即使在同一天的早晨和下午差别也很大。早晨温室内温度较低,黄瓜蒸腾较慢,叶片含水量较大,这时的叶片较挺立,叶倾角也就会减小,相反下午温度高,蒸发量大,叶片含水量下降使叶片下垂,这时的叶倾角也就会增大,所以在短期内黄瓜植株体内的含水量对叶倾角的影响很大。

3.3 叶倾角

在黄瓜的整个生育期内,植株南侧叶片的叶倾角总是大于北侧叶片的叶倾角,且随生育期的推移愈明显;在整个生育期黄瓜主要以叶倾角为30°~40°之间的叶片为分布主体;叶倾角在45°~50°之间的叶倾角较大的叶片主要分布在植株偏南面(方位IV、V、VD);而叶倾角较小的0°~10°之间的叶片主要分布在4月23日至5月4日之间的植株北面(方位I、VIII)。

3.4 方位角

叶方位角分布以偏南居多,偏北居少。其中植株南面(方位V、VD)在整个生育期内方位角分布频率都持续

升高,北面(方位、Ⅷ)在3月30日明显下降,降至4月11日以后基本趋于稳定。

3.5 叶面积指数和叶面积密度

在开花(4月23日)结果期,黄瓜叶面积指数一直呈上升趋势,叶面积增长最快的是开花结果前期,后期下部叶片衰老摘叶使叶面积指数下降。叶面积密度在开花结果期以前是增加的,后期由于叶面积增加速率小于株高增加速率及老叶的摘除使叶面积密度降低。

总之,正是由于太阳辐射在温室南北方向上分布的不均衡性,导致黄瓜叶片的叶倾角、叶方位角的差异主要体现在植株的南北面,而太阳辐射在东西方向的分布基本趋于一致,所以植株东西面叶片的叶倾角、叶方位角没有明显的差异,所以日光温室内的黄瓜群体结构参数具有一定的特殊性。

参考文献

- [1] 张亚红,陈端生,黄晚华.日光温室黄瓜群体结构参数及群体内辐射分布分析[J].农业工程学报,2003,19(1):172-176.
- [2] Yang X, Shot T H, Fox R D, et al. plant architectural parameters of a greenhouse cucumber row crop [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 1990(51): 93-105.
- [3] Yang X, Shot T H, Fox R D, et al. A theoretical model of solar radia-

tion transfer in a row-crop canopy[J]. Transaction of the ASAE, 1990(33): 917-924.

- [4] Thererard D, Zhang Y, Jewett T J, et al. Monitoring and modeling of light penetration into double row greenhouse crop [J]. Transaction of the ASAE, 1990(11): 40-44.
- [5] 刘国安.作物叶面积指数和叶倾角分布的一种函数[J].中国农业气象, 1994, 15(6)增刊: 11-15.
- [6] 钟阳和,张理,罗真萍.春小麦三种种植方式的群体结构分析[J].中国农业气象, 1990(11): 40-44.
- [7] 唐怡,黄文江,刘良云,等.株型对冬小麦冠层叶面积指数与植被指数关系的影响研究[J].干旱地区农业研究, 2006, 24(5): 130-136.
- [8] 张伟,吕新.不同灌水量对棉花冠层结构的影响及其调控作用[J].新疆农业科学, 2004, 41(1): 17-20.
- [9] 金剑,刘晓冰,王光华,等.不同密度大豆生殖生长期群体冠层结构研究[J].农业系统科学与综合研究, 2003, 19(2): 124-128.
- [10] 修国红,李保明.日光温室各表面太阳辐射照度的模拟计算日光温室各表面太阳辐射照度的模拟计算[J].中国农业大学学报, 2006(1): 61-65.
- [11] Ю.Росс Т. Нилъсон.农作物叶片的空间取向及其测定方法[A]//王天铎.光合作用与作物生产译丛[C].北京:农业出版社, 1982: 14-24.
- [12] Duncan W G. Leaf angle, leaf area, and canopy photosynthesis [J]. Crop Sci. 1971(11): 482-485.
- [13] Allen L H J. Model of light penetration into a wide row crop [J]. Agronomy Journal. 1974, 66: 41-47.

Analysis of Cucumber Canopy Architectural Parameters in Sunlight Greenhouse

BAI Qing¹, WANG Li², ZHANG Ya-hong¹, CUI Hai¹

(1. School of Agricultural, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China; 2. The Elementary Department of Ningxia Medicine, Yinchuan, Ningxia 750004, China)

Abstract: Because of the particular light environment, the canopy architectural of cucumbers has certain particularity. The thesis observed the light environment in the north and south part of the light greenhouse and the canopy architectural parameters on different bearing periods. The results showed: the radiant intensity in the south part is obviously higher than that in the north part; the cucumber leaf zenith, azimuth angles, leaf area index and leaf area density changes distinctly on different periods. The leaf zenith that in the south was bigger than that in the north, and during the whole bearing period, the distribution of leaf zenith was mainly about $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$. The frequency of leaf zenith in the south was higher than that in the north. The leaf area index and leaf density increase during early bearing period, while decreases during late bearing period. All these changes and differences had great influence on the distribution of radiation that inside cucumbers. Therefore, the result laid a foundation for discussing the relationship between cucumber canopy architectural in greenhouse and the distribution of radiation inside cucumbers, meanwhile, the result laid a foundation for building the math model of the radiation distribution inside cucumbers.

Key words: Cucumber; Sunlight greenhouse; Architectural parameters