

冀东地区典型高效节能日光温室 结构对比及改进建议

郭瑞杰¹, 宋士清¹, 苏俊坡², 焦东民³

(1. 河北科技师范学院 园艺科技学院, 河北 昌黎 066600; 2. 乐亭县农牧局, 河北 乐亭 063600;
3. 乐亭县科技局, 河北 乐亭 063600)

摘 要:在简要介绍 5 种温室构型参数的基础上,对冀东地区 5 种典型结构高效节能日光温室的后屋面、后墙结构、跨度、脊高和低温期温度进行详细对比,讨论 5 种温室结构的合理性,并提出增加后墙和后屋面的保温性、增加前屋面的保温性、挖设防寒沟、减少出入口热度的散失、安装临时加温设备等改进建议。

关键词:冀东地区;高效节能日光温室;构型参数;温室性能;改进建议

中图分类号:S 626.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)18-0058-06

高效节能日光温室是我国北方自 1980 年以来迅速发展起来的主要园艺设施,是我国农业工作者结合地域特点和气候条件进行开发的设施农业形式,非常适合我国农业。截至 2010 年,我国日光温室面积达 78.34 万 hm^2 ,占设施园艺总面积的 22.75% 左右^[1]。30 多年来,冀东地区高效节能日光温室发展迅速,已经成为该地区农业增效、农民增收的新增长点。但是在建造使用高效节能日光温室的过程中,仍存在一些不合理的现象。因此,对冀东地区现有高效节能日光温室进行调查,摸清其基本构型参数,以期为建设合理的高效节能日光温室或优化高效节能日光温室结构提供理论参考。

1 冀东地区概况

冀东地区主要包括秦皇岛和唐山两地,素有“冀东粮仓”的美誉。秦皇岛市位于北纬 $39^{\circ}24'$ ~ $40^{\circ}37'$ 、东经 $118^{\circ}33'$ ~ $119^{\circ}51'$,秦皇岛属暖温带半湿润季风型大陆性气候,春季干燥多风,夏季炎热多雨,具有明显的寒暑交替,常年无霜期 175~185 d,年平均气温 10.5°C ,年平均降水量 736.3 mm,年平均日照时数 2 796 h,适合大宗作

物生长繁育。唐山市位于北纬 $38^{\circ}55'$ ~ $40^{\circ}28'$ 、东经 $117^{\circ}31'$ ~ $119^{\circ}19'$,属暖温带半湿润季风气候,气候温和,年平均日照时数 2 600 h,年平均气温 11.5°C ,无霜期 200 d,年平均降水量 600 mm。

冀东地区是河北省发展设施农业比较早的地方,气候非常适合发展设施农业,又有环渤海、环京津的地理位置优势,农业发展潜力巨大,其中乐亭县更有“中国果菜无公害十强县”的美称。

2 5 种温室构型参数

2.1 I型温室

该类型温室位于秦皇岛市昌黎县,由昌黎县嘉诚蔬菜种植专业合作社投资建造,温室结构如图 1 所示:内跨度 12 m,外长度 97 m,脊高 4.05 m;后墙以夯实土墙为主,内衬三七砖墙和钢筋混凝土框架,高度 3.1 m;后屋面水平投影长度 113 cm,后屋面厚度 11 cm;后屋面仰角 35° ;无下挖,无立柱,前屋面角 17° ,前屋面拱架底脚为钢筋混凝土基座。

2.2 II型温室

该类型温室位于唐山市乐亭县,由乐亭县金畅果蔬种植专业合作社投资建造,温室结构如图 2 所示:内跨度 8.5 m,外长度 104.4 m,脊高 4.14 m;后墙为异质复合墙体,材料为泡沫砖,高度 3.1 m;后屋面水平投影长度 80 cm,后屋面厚度 10 cm,后屋面仰角 46° ;下挖 60 cm,无立柱,前屋面角 23° ,前屋面拱架底脚为水泥预制基座。

第一作者简介:郭瑞杰(1990-),男,河南济源人,硕士研究生,研究方向为设施蔬菜。E-mail:516738550@qq.com.

责任作者:宋士清(1965-),男,博士,教授,研究方向为设施蔬菜。E-mail:qhdsuq@163.com.

基金项目:科技部科技富民强县专项行动计划资助项目(国科发农[2013]514号)。

收稿日期:2015-05-19

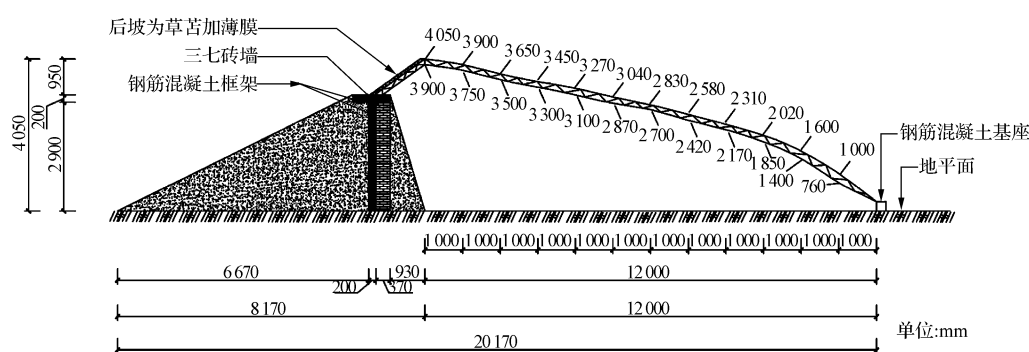


图1 I型温室结构

Fig.1 The chart of I type greenhouse

2.3 III型温室

该类型温室位于秦皇岛市昌黎县,由昌黎县三发果蔬种植专业合作社投资建造,温室结构如图3所示:内跨度9 m,外长度98 m,脊高3.5 m;后墙为夯实土墙,高度2.3 m;后屋面水平投影长度86 cm,后屋面厚度10 cm,后屋面仰角54°;下挖80 cm,有四排立柱,前屋面角17°,前屋面拱架底脚直接插入土中,无基座。

2.4 IV型温室

该类型温室位于唐山市乐亭县,由乐亭县万事达生态农业发展有限公司投资建造,温室结构如图4所示:内跨度7.7 m,外长度104 m,脊高3.7 m;后墙为夯实土墙,高度2.3 m;后屋面水平投影长度95 cm,后屋面厚度

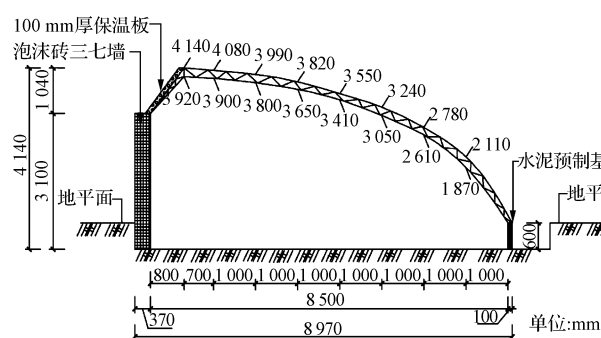


图2 II型温室结构

Fig.2 The chart of II type greenhouse

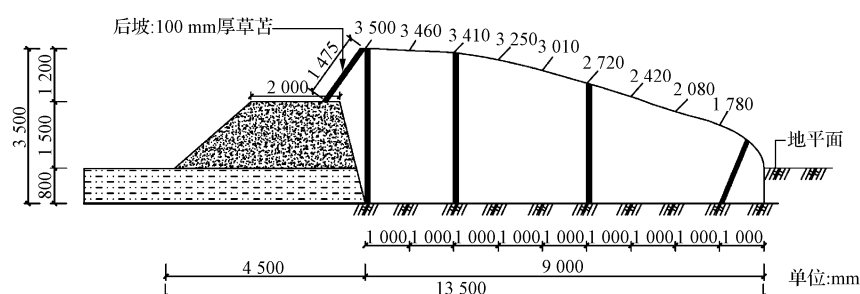


图3 III型温室结构

Fig.3 The chart of III type greenhouse

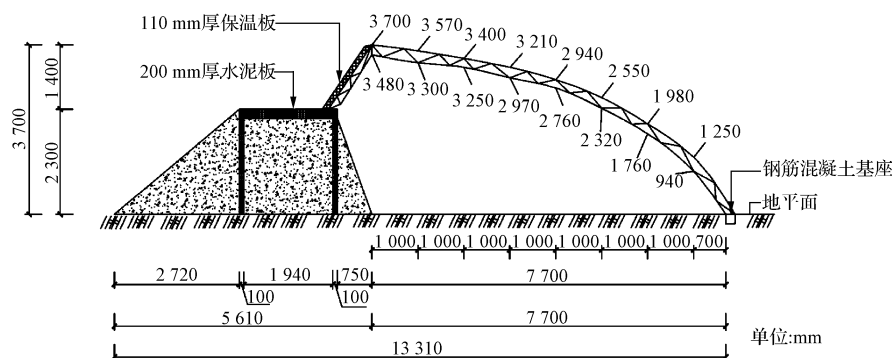


图4 IV型温室结构

Fig.4 The chart of IV type greenhouse

11 cm。后屋面仰角 54° ；无下挖，无立柱，前屋面角 24° ，前屋面拱架底脚为钢筋混凝土基座。

2.5 V型温室

该类型温室位于秦皇岛市昌黎县，由昌黎县旺杰生态农业观光有限公司投资建造，温室结构如图 5 所

示：内跨度 8.9 m，外长度 70 m，脊高 4.74 m；后墙为空心砖墙加聚苯保温板，高度 3.25 m；后屋面水平投影长度 140 cm，后屋面厚度 10 cm，后屋面仰角 45° ；无下挖，无立柱，前屋面角 29° ，前屋面拱架底脚为水泥预制基座。

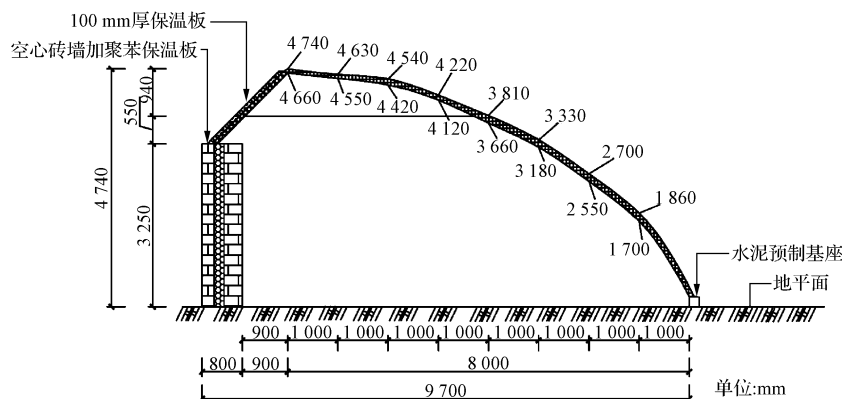


图 5 V型温室结构

Fig. 5 The chart of V type greenhouse

3 温室结构数据分析

3.1 后屋面

日光温室的后屋面又叫后坡，后屋面是温室结构的重要组成部分，起着支撑、挡风、避雨和保温的作用，同时也是揭盖草帘、保温被的作业部位。合理的后屋面材料和厚度、后屋面仰角和后屋面水平投影长度的设计对日光温室光照和保温性能影响很大。

3.1.1 后屋面材料和厚度 李小芳^[2]通过对后屋面均温、平均气温、北墙均温、东墙均温、西墙均温、地面均温和前屋面均温对比，得出后屋面的平均温度仅比前屋面高，需要加强后屋面的保温，并对其结构从材料方面进

行优化，以减少从后屋面散失的热量。因此可以看出选择合适的后屋面材料以及确定适宜的厚度对温室保温具有重要作用。由表 1 可知，5 种温室中 I 型、II 型、IV 型、V 型 4 类温室后屋面材料均为聚苯保温板，且厚度均为 10~11 cm，只有 III 型温室采用“薄膜+草苫+薄膜”的形式。聚苯保温板具有优异的保温隔热作用，能够有效防止温室热量散失，聚苯板导热系数为 $0.028 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ，据计算 10 cm 厚度在温室上使用已经足够。III 型温室采用“薄膜+草苫+薄膜”的形式，根据王云冰^[3]的试验结果，草苫类的后屋面厚度在 20 cm 左右能够达到最佳的保温效果，因此 III 型温室后屋面厚度应当加厚为宜。

表 1

5 种型式温室后屋面结构

Table 1

After five kinds of greenhouse roof structure

型式 Type	后屋面材料 The material after the roofing	后屋面厚度 The thickness after the roofing /cm	后屋面仰角 The elevation after the roofing /(°)	后屋面水平投影长度 After the length of the horizontal projection of the roof/cm	
				实际测量值 Actual measured value	P 值 P values
I	聚苯保温板	11	35	113	117
II	聚苯保温板	10	46	80	119
III	薄膜+草苫+薄膜	10	54	86	101
IV	聚苯保温板	11	54	95	107
V	聚苯保温板	10	45	140	136

3.1.2 后屋面仰角 后屋面仰角指的是后屋面与水平面之间的夹角。合理的后屋面仰角可以保证温室白天接受足够的太阳辐射、积累足够的热量。王云冰^[4]的试验结果表明，科学合理的后屋面仰角应该保持在 $40^\circ \sim 45^\circ$ ，以保证冬季阳光能够照满后墙为宜。由表 1 可以看出，V 型温室后屋面仰角 45° 较合理；I 型温室后屋面仰角 35° 偏小会遮挡阳光，阳光照射不到后墙，影响后墙墙体蓄热；II 型、III 型和 IV 型温室后屋面仰角偏大会使后屋面

上部水平部分相对较小，放置草苫和人工操作不方便。

3.1.3 后屋面水平投影长度 后屋面水平投影长度指的是后屋面在温室跨度方向的水平投影长度。魏晓明等^[5]提出北纬 $39^\circ \sim 40^\circ$ 地区后屋面水平投影(P)的计算公式为 $P=0.278(H-2)+0.6$ ，其中 H 为脊高。发现在每个温室现有脊高下，I 型和 V 型温室后屋面水平投影长度接近合理值，II 型、III 型和 IV 型温室后屋面水平投影长度偏小。

3.2 后墙

在日光温室里,后墙是其重要组成部分,它不仅起着支撑、承重、遮风、挡雨作用,还是日光温室主要的吸热、蓄热和散热体^[6]。5种型式温室中,I、Ⅲ、Ⅳ型3种温室后墙为夯实土墙,Ⅱ型温室后墙为泡沫水泥砖,V型温室后墙为空心砖墙加聚苯保温板。

在土墙温室中,后墙墙体越薄其储热能力越差,夜间向室内放热越少,保温性能越差;后墙墙体越厚储热保温效果越好,夜间放热越多,尤其在凌晨以后保温作用越强,使温室内温度下降缓慢。董瑞^[7]、籍秀红^[8]指出墙体厚度增加对温室增温作用不大。保温性好的墙体应是在夜间放热量大并能够持续不断的向室内提供热量的墙体。温室的墙体越厚其土地的利用率越低,建造成本相应就越高。在满足喜温蔬菜生长的前提下,后墙厚度的确定应该根据当地的温度环境条件,综合考虑保温效果、土地的利用率和建造成本。

泡沫水泥砖是利用泡沫小颗粒与水泥搅拌凝结而成,具有轻质、保温、隔音、防火的优良性能,而且由于使用了小直径的缘故大大降低了成本,是非承重墙的理想用品。空心砖墙加聚苯保温板具有优异的保温隔热作用,能够有效防止温室热量散失。这2种型式温室后墙保温效果比土墙好但是墙体储热放热能力不强,使用这2种后墙的温室可以通过在后墙堆土来增加温室的储热性。

3.3 跨度和脊高

温室跨度是指温室后墙内侧至采光面底脚之间的距离。在温室高度一定的情况下,温室跨度越大,温室前屋面角势必减小,不利于白天采光增温,同时增加了温室散热面积,不利于温室保温。脊高是指温室屋脊至地面的垂直距离。在温室跨度一定的情况下,适当增加脊高,有利于温室采光和人工操作。在温室建造过程中,温室的脊高与跨度要有一个合适的比例,即高跨比。张林华等^[9]提出在选取温室高跨比时,要综合考虑夜间由墙体、土壤和后坡放热时日光温室内的速度场和温度场,以及白天的北墙蓄热作用,并兼顾温室的经济适用性和结构稳定性。设计日光温室时,高跨比宜取0.4~0.5。从表2可以看出,Ⅱ型、Ⅳ型温室高跨比较合理;Ⅰ型、Ⅲ型温室高跨比偏小,会使温室内白天的采光达不到

表2 5种温室跨度与脊高

Table 2 The span and high ridge of the five kinds greenhouse

型式 Type	跨度 Span/m	脊高 High ridge/m	高跨比 Span ratio
I	12.0	4.05	0.34
Ⅱ	8.5	4.14	0.49
Ⅲ	9.1	3.50	0.38
Ⅳ	7.7	3.70	0.48
V	8.9	4.74	0.53

最优效果;V型温室高跨比偏大,会增加散热面积,使温室的保温效果相对较低。

3.4 前屋面角

日光温室的前屋面角指温室的屋脊顶点处与温室前拱脚连线与水平地面的夹角^[10]。为了提出最合理的前屋面角,研究者们提出了理想屋面角、合理屋面角、最佳屋面角的概念^[11]。其中最佳屋面角是在实际生产中应用广泛的前屋面角。在温室建筑实际合理允许下,最佳屋面角能够最大程度的为温室作物生长提供最佳温光条件,最大程度的提高温室性能。假设在冬至日正午前后各2h范围内,均能满足阳光入射角 $i < 40^\circ$,在此情况下求得温室前屋面角为最佳屋面角,数学计算公式有^[12]。

$$\cos i = \cos a \cdot \sinh + \sin a \cdot \cosh \cdot \cos A \quad (1),$$

$$\sinh = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos t \quad (2),$$

$$\sin A = (\cos \delta \cdot \sin t) / \cosh \quad (3).$$

式中, h 为任意时刻太阳高度角, φ 为当地的地理纬度, δ 为太阳赤纬(冬至时 $\delta = -23.45^\circ$), t 为太阳时角(12:00取 $t=0$,上午取负值,下午取正值,每小时偏转 15°), a 为日光温室前屋面角, A 为太阳方位角, i 为阳光入射角。

冀东地区地处北纬 39° 左右,结合公式求得冀东地区最佳屋面角为 36° 左右。因此研究发现该5种型式温室的前屋面角普遍偏小,白天增温蓄热会受到影响。

3.5 5种型式温室低温期温度

为了摸清低温期植物生长区的温度变化情况,参照刘雁征等^[13]的方法,在每个温室内水平面正中位置、垂直距地面1.5m高处各设置一个监测点,室外1.5m高处设置一监测点对照。采用杭州泽大公司的ZDR-20温湿度记录仪记录数据,采集时间间隔为10min。于冬至(2014年12月22日)前后各5d共计11d内连续监测日光温室的室内气温和室外气温。

3.5.1 不同温室温度日变化比较 选取冬至日当天不同温室的温度日变化曲线进行对比。从图6可以看出,5种型式温室均从9:00温度开始升高,到14:00时气温

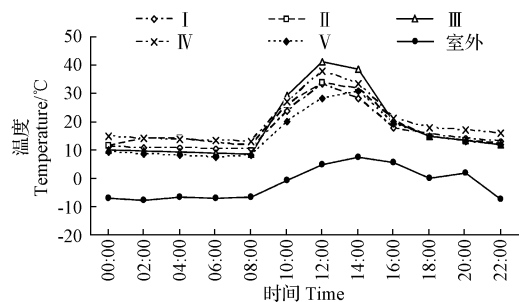


图6 不同温室温度日变化曲线

Fig. 6 The daily variation curve of the different greenhouse temperatures

达到最高,之后开始下降,到 18:00 后温度趋于稳定。Ⅲ类温室最高气温为 38.7℃,是 5 种型式温室中最高,其升温速率快,但是其降温速率也快,夜间温度相对较低,说明其白天接受光照能力强但保温效果相对较弱;Ⅴ类温室相比较基本每个时段的温度都低于其它温室;Ⅳ类温室最高温度较高,升温速率较快,尤其是夜间温度基本稳定在 14℃左右,比其它温室都高,说明其保温效果最好,升温效果也不错;Ⅱ、Ⅲ类温室温度处于中间位置。

3.5.2 不同温室白天平均温度比较 从图 7 可以看出,Ⅳ类温室有 8 d 的平均温度为 5 种型式温室内最高,有 3 d 的平均温度为第二,而且每天平均温度相对稳定;Ⅴ类温室每天的平均温度都比其它温室低;Ⅲ类温室每天平均温度变化趋势较大,不是很稳定,说明其受外部环境影响较大。

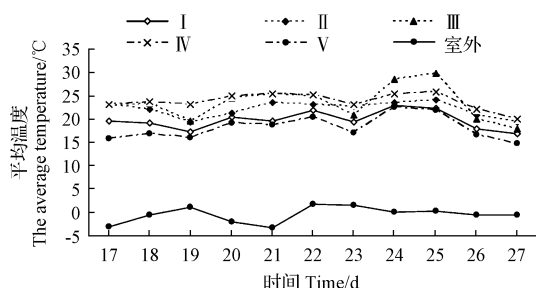


图 7 不同温室白天平均温度曲线

Fig. 7 The average temperature curve of the different greenhouse during the day

3.5.3 不同温室夜间平均气温比较 由图 8 可知,Ⅳ类温室的夜间平均温度为 5 种型式温室内最高,说明其夜间保温能力较强;Ⅴ类温室的夜间平均温度为 5 种型式温室内最低,说明其夜间保温能力较弱;不管室外夜间平均温度高低,5 种型式温室夜间平均温度都相对稳定,说明夜间温室内的温度是由温室本身的保温性能决定的。

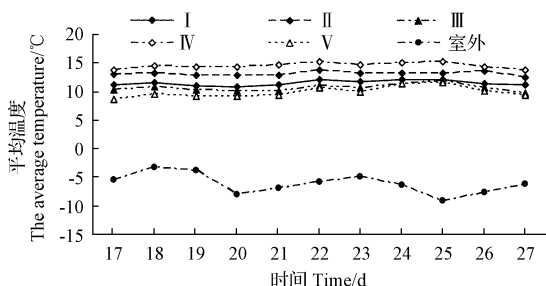


图 8 不同温室夜间平均温度曲线

Fig. 8 The average temperature curve of the different greenhouse during the night

4 改进建议

虽然目前这 5 种型式温室很多结构参数不合理,但是要重新改建投入较大,已经不现实,可以在原有的基础上进一步加以改进,使温室更加合理。因此,提出以

下建议供参考。

4.1 增加后墙和后屋面的保温性

后墙和后屋面作为温室围护结构中重要的组成部分,良好的后墙和后屋面保温性对日光温室至关重要。在基于日光温室现有结构下,可以通过在后墙堆土或粘贴 10 cm 厚聚苯保温板来增加后墙保温性。对于后屋面来说,还必须考虑温室的安全性问题,建议用一些质轻、保温性好的材料,例如稻草、草苫、棉被等,外部用薄膜包裹,防止雨雪天气潮湿,减弱保温性。

4.2 增加前屋面的保温性

温室的前屋面是获得热量和散失热量的主要地方,夜间前屋面的贯流放热是温室温度散失的主要形式,所以增加前屋面的保温性至关重要。可以选择用 EVA 无滴膜,可以有效减少地面辐射的散失,并且能够防止雾滴对植物造成伤害。不定期的对薄膜进行打扫,清除掉薄膜上的污垢,提高透光率。外保温可以选用厚度为 5 cm 的草帘或者 1 m² 重 2.5 kg 的保温被保温。

在温室内悬挂二重幕,温室南侧底脚 1 m 下挂围裙也可以有效的提高温室的保温性。

4.3 挖设防寒沟

温室内热量可以通过土壤向外部横向散热。在温室前屋面外侧底脚处挖设深 50 cm、宽 30 cm 的防寒沟,里面填入稻草、秸秆或放入聚苯保温板,可以有效减少横向散热。

4.4 减少出入口热度的散失

出入口在人员进出过程中会散失一部分热量,做好出入口的保温措施能够减少温室内热量的散失。可以在温室出入口处设置缓冲间,缓冲间出入口悬挂保温被做成的帘子。

4.5 安装临时加温设备

冀东地区为暖温带半湿润季风气候,一般情况下,不需要加温。但是遇到连续阴雨雪天气,必须选择合适的加温设备加温,可以选择简单、方便的临时加温设备,为作物提供适宜的生长环境。

参考文献

- [1] 吴凤芝. 园艺设施工程学[M]. 北京: 科学出版社, 2012: 9-10.
- [2] 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.
- [3] 王云冰. 高效保温材料在日光温室后屋面中的应用研究[J]. 西北农林科技大学学报, 2010, 38(1): 173-180.
- [4] 王云冰. 关中地区不同后屋仰角日光温室保温性能分析[J]. 中国农业气象, 2009, 30(2): 191-194.
- [5] 魏晓明, 周长吉, 曹楠, 等. 基于光照的日光温室总体尺寸确定方法研究[J]. 北方园艺, 2010(15): 1-5.
- [6] 何斌, 王宏丽, 邹志荣. 内蒙古乌海非耕地日光温室建筑与结构设计[J]. 北方园艺, 2014(4): 42-45.
- [7] 董瑞. 沙荒地日光温室墙体传热性能研究[D]. 济南: 山东建筑大学, 2007.

规模化黄瓜无土栽培结果期椰糠营养液配方的优化

隋明浩¹, 张天柱^{1,2}

(1. 中国农业大学 水利与土木工程学院, 北京 100083; 2. 北京中农富通园艺有限公司, 北京 100083)

摘要:以“北斗星”黄瓜为试材,研究了2种不同因子N、Mg的3种含量水平椰糠营养液对黄瓜营养生长、产量、品质和叶绿素的影响,优化出适合黄瓜无土栽培的椰糠营养液配方。结果表明:优化的营养液N和Mg含量为14 mmol/L和2 mmol/L,能改善黄瓜品质、降低硝酸盐含量、提高叶片叶绿素含量,一定程度上达到了增产效果,提高了经济效益。在规模化生产过程中,考虑实际情况,营养液N和Mg含量可在平均值上下有小幅度波动。

关键词:黄瓜;无土栽培;营养液;品质

中图分类号:S 642.204⁺.7 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)18-0063-04

目前,我国大部分地区仍采用日光温室和拱棚栽培黄瓜,而国外普遍使用连栋温室进行栽培生产。我国黄

第一作者简介:隋明浩(1991-),女,硕士研究生,研究方向为农业生物环境与能源工程。E-mail:982125316@qq.com.

责任作者:张天柱(1968-),男,博士,教授,现主要从事农业生物环境与能源工程等教学与科研工作。E-mail:liulujiang2008@163.com.

收稿日期:2015-06-26

瓜单位面积产量平均为74 t/hm²[1],而荷兰单位面积黄瓜产量平均可高达664.3 t/hm²。近年来,蔬菜生产中人力成本和农业投入品成本逐年快速上升,由于工艺原因的决定,传统的日光温室和拱棚生产的劳动生产率没有显著提高,存在工作效率低的问题,发展规模化高效连栋温室生产势在必行。而且随着科技技术提高,新工艺采用,工商资本大量进入农业,高回报的高劳动效率的规模化连栋温室生产将在未来成为一种趋势。

[8] 籍秀红.日光温室墙体材料保温蓄热性能的测试与研究[D].北京:中国农业大学,2007.

[9] 张林华,董瑞.高跨比对日光温室综合影响的研究[J].可再生能源,2007,25(4):15-17.

[10] 唐俊昌,邹志荣,程智慧.高效设施园艺生产技术大全[M].西安:西安地图出版社,2001.

[11] 张真和.高效节能日光温室园艺[M].北京:农业出版社,1995.

[12] 李军,邹志荣,杨旭,等.西北型节能日光温室采光设计中方位角和前屋面角的分析、探讨与应用[J].西北农业学报,2003,12(2):105-108.

[13] 刘雁征,汪金营,吕亚洲,等.日光温室温度传感器布置研究[J].北京农业职业学院学报,2013,27(3):24-26.

Comparison and Suggestions for Typical Efficient Energy Saving Solar Greenhouse Structure in Jidong Area

GUO Ruijie¹, SONG Shiqing¹, SU Junpo², JIAO Dongmin³

(1. College of Horticulture Science and Technology, Hebei Normal University of Science and Technology, Changli, Hebei 066600; 2. Farm and Animal Bureau of Laoting County, Laoting, Hebei 063600; 3. Technology Bureau of Laoting County, Laoting, Hebei 063600)

Abstract: On the basis of introducing the parameters of five kinds of greenhouse structures briefly, the rationality of these structures were discussed in this paper by making a detailed comparison of five kinds of typical structures of energy efficient solar greenhouse in roof after, back wall structure, span, ridge height, low temperature in east Hebei area. Some suggestions for improvements were proposed such as improving the thermal insulation properties of the back wall, the rear and front of the roof, setting cold ditch digging, reducing temperature dissipation entrance, installing temporary heating equipment and so on.

Keywords: Jidong area; high efficiency and energy saving solar greenhouse; configuration parameters; performance of the greenhouse; suggestions for improvement