

日光温室揭放保温被时间研究及其自动控制实现

张晓丽, 张亚红*, 任佳楠, 付玉芳, 郭松涛, 李 鹏

(宁夏大学农学院, 银川 750021)

摘 要: 为了研究日光温室揭放保温被时间, 进而实现自动控制, 以园区管理员经验揭放时间为对照 (用 CK 表示), 依据日出日落时间变化和不同的天气状况, 设计揭放保温被时间处理 (用 H 表示)。揭放保温被时间公式为 $T = T_{\text{日出}}/T_{\text{日落}} \pm X_{\text{min}}$, 同时两温室内种植同一作物 (樱桃番茄)。结果表明: (1) 在冬春茬樱桃番茄的不同生育期, H 处理比 CK 的光照时长增加 9.42%~24.32%; H 处理和 CK 的平均空气温度基本满足樱桃番茄的生长; H 处理和 CK 的平均土壤温度都可以满足樱桃番茄的正常生长。(2) 在盛果期, 与 CK 相比, H 处理显著促进了樱桃番茄的光合作用, 并且显著提高了樱桃番茄的品质和产量。(3) 在上述研究的基础上, 设计开发了日光温室揭放保温被时间自动控制装置, 目前该装置应用灵活、方便、自动以及安全, 并且可以同时控制多个日光温室的揭放保温被时间。

关键词: 日光温室; 揭放保温被; 时间; 自动控制

中图分类号: TU261

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2020)03-0480-08

Study on uncovering and covering time of thermal blankets in solar greenhouse and its automatic control realization

ZHANG Xiaoli, ZHANG Yahong, REN Jianan, FU Yufang, GUO Songtao, LI Peng

(School of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan 750021)

Abstract: In order to realize the automatic control of the uncovering and covering time of thermal blankets in solar greenhouses, we designed them (expressed by H treatment) based on the change of sunrise and sunset time and different weather conditions, taking the time of the park administrator's experience as the control (expressed by CK). We listed the formula for covering and uncovering time of thermal blankets as $T = T_{\text{sunrise}}/T_{\text{sunset}} \pm X_{\text{min}}$ and planted the same crop (cherry tomatoes) in the two greenhouses simultaneously. The results showed that: (1) At different growth stages of the cherry tomatoes, the illumination time in H treatment increased by 9.42% - 24.32% compared with CK; the average air and soil temperatures in H treatment and CK could basically satisfied the normal growth of the cherry tomatoes. (2) In the fruiting stage of the cherry tomatoes, compared with CK, H treatment significantly promoted the photosynthesis of the cherry tomatoes and significantly improved the yield and quality of the cherry tomatoes. (3) Based on the above research, we designed and developed a time-controlled automatic control device for covering and uncovering time of thermal blankets in solar greenhouse, which is flexible, convenient, automatic and safe and can simultaneously control the covering and uncovering time of thermal blankets in multiple solar greenhouses.

Key words: solar greenhouse; uncovering and covering of thermal blankets; time; automatic control

光热条件是日光温室环境研究的重要课题, 保温被作为温室的组成部分, 其揭放时间也成为日光温室光热环境的关键因素, 研究日光温室揭放保温被时间及其自动控制对探索优化温室环境具有重要作用。日光温室作为具有典型中国特色、规模巨大的设施类型, 一直是中国温室园艺装备升级的重

点^[1], 三分之二的日光温室集中在北方寒区, 成为北方乃至全国“菜篮子工程”供应的重要手段^[2]。光照不仅是日光温室环境的重要影响因素^[3-4], 也是温室内蔬菜光合作用和生长发育的关键要素^[5]。冬季日光温室光照弱、光照时间不足已成为生产中的主要限制因素。

收稿日期: 2019-10-10

基金项目: 宁夏“十三五”重点研发计划重大项目 (2016BZ0901) 资助。

作者简介: 张晓丽, 硕士研究生。E-mail: zhangxiaoli_2214@qq.com

* 通信作者: 张亚红, 教授, 博士生导师。E-mail: zhyhcau@sina.com

对于光照时间不足的问题,前人做了很多研究,主要集中于人工补光^[6-8],但此方法成本较高。而另外一种方法是利用早揭晚放保温被,延长光照时间。针对揭放保温被的时间以及对温室环境的影响,刘璎璎等^[9]利用保温被揭盖前后温室能量平衡的变化及多元回归方法,推导出确定揭盖保温被时间的数学模型,结果表明该模型可以运用到日光温室的棉被揭盖控制上;曹建国和崔建旭^[10]认为棉被要尽可能早揭晚盖,以增加室内光照时间,晴、少云天气,揭棉被时间为 8:00—8:30,盖棉被时间为 16:30—17:30。王英师等^[11]在冬季分别设置揭棉被时间分别为 9:00 和 10:00、放棉被时间分别为 15:00 和 16:00,对两个日光温室内气温和室外气温进行了连续实时测量,结果表明揭放棉被的时间对室内气温产生了明显的影响。钟岩等^[12]利用日角正弦值的绝对值变化与温室揭棉被至日出的时间差变化规律相似这一特点,对沈阳地区下半年日光温室棉被的揭盖时间进行了模拟,建立温室棉被揭盖时间的模型,结果表明揭盖棉被时间的模拟值与实测值的趋势一致,决定系数均达到 0.9 以上。李国师等^[13]认为揭棉被时间应选在日出后 1 h 左右,盖保温被时间应由覆盖棉被时的基础气温决定。

在自动控制方面,刘焕宇^[15]采用 ZigBee 无线传感技术设计了温室内外环境监测及卷帘机控制系统,并利用红外线技术有效防止卷帘机过卷问题;裴雪^[16]研究了日光温室温度预测模型和卷帘智能控制方法,并利用此方法和传统控制方法进行比较,温室光照时长延长大约 1 h,辐热积增加了 48.74%,有效积温提高了 19.1%;石建业等^[17]以当地的太阳辐射参数为依据,每月调整一次揭放帘时间,设计自动控制装置,可延长光照时间。但这些研究主要以数学模型模拟为主,忽略了日出日落时间动态变化和实际生产成本,而本试验结合日出日落的变化规律,与传统揭放时间对比,并设计动态揭放保温被时间,同时对比分析日光温室内环境及樱桃番茄光合作用和品质产量的变化。根据试验所得阈值,设计开发了智能控制揭放保温被时间的装置,以实现远程控制日光温室保温被的揭放,为探索日光温室环境的改善提供支持。

1 材料与方法

1.1 试验温室

试验在宁夏新起点现代农业装备科技有限公司(简称新起点)的日光温室内进行,公司位于宁夏银川市兴庆区掌政镇茂盛村(38°24' 55" N, 106°21'

45" E)。试验温室为节能型钢架结构,东西长为 80 m,南北跨度 8 m,种植区宽为 6.4 m,后墙高 4.40 m,温室脊高 4.8 m,温室覆盖棚膜为单层聚乙烯膜,外覆保温被(材质为双层羊毛),上风口宽 1.1 m,下风口宽 1 m。

1.2 试验材料

试验材料为樱桃番茄(*Lycopersicon esculentum* Mill.),品种为“碧娇”,鲜食性杂交种,中早熟品种,有限生长类型。起垄种植,每垄两行,畦宽为 0.8 m,沟宽 0.7 m,行距为 0.75 m,株距为 0.3 m,定植日期为 2017 年 12 月 15 日,缓苗期 15 d。幼苗期:2017-12-15—2018-01-20;开花坐果期:2018-01-21—2018-02-25。结果期:2018-02-26—2018-05-20。由于定植后 15 d 为缓苗期,从 4 月 27 日起,外界温度升高至植物所需温度,不用再靠保温被来保持室内温度,所以处理的时间为 2018-01-01—2018-04-26。生产管理:按日光温室冬春茬栽培技术要求进行,基肥为有机羊粪,滴灌,追肥为水溶肥和叶面肥,番茄采用单杆整枝技术。

1.3 试验方法

1.3.1 前期研究 在 2018-01-01—2018-04-26 对本地天气进行观测和统计:晴天 58%,多云天 19%,阴天 23%。其中保温被揭开时间的评定标准为保证室内温度上升的前提下尽早揭开保温被;保温被覆盖时间的标准为保证第二天最低气温的前提下尽可能晚覆盖^[9]。根据李国师等^[13]的研究理论可知,揭棉被的时间在日出后 1 h 左右,放棉被的时间由温室的基础温度决定。为了更加确定揭放保温被的具体时间,首先设定晴阴天时间=日出/日落时间±60 min,经过 10 d 的连续观测,并且统计分析光照、室内外温度的变化,晴阴天时间都符合保温被揭放标准;随后调整晴天时间=日出/日落时间±30 min,阴天时间=日出/日落时间±45 min;同样的经过 10 d 的连续观测,结果显示晴阴天时间都不符合揭放保温被标准;调整晴天时间=日出/日落时间±40 min,阴天时间调整回第一次设定的时间,观测、统计以及分析后,结果基本符合揭放保温被标准。另外,预试验过程中发现在晴天时,日落前 40 min 室内温度降至 18℃左右,跟李国师等^[13]的研究的基础温度相吻合;而在阴天时,室内最高温都很难达到 18℃,因此不能采取他们的放保温被结果。

1.3.2 试验设计 本试验以园区管理员揭放保温被的时间为对照(CK,日光温室 1),以经过两个月预试验得出的揭放保温被时间为处理(H,日光温室 2),具体揭放时间如表 1。

表 1 日光温室揭放保温被时间设定

Tabel 1 The uncovering and covering time of thermal blankets to set in solar greenhouse

温室序号 Greenhouse number	天气状况 Weather condition	处理 Treatment
日光温室 I (CK) Solar greenhouse I	晴天	揭 $T1=T_{\text{sunrise}} + 75 \text{ min}$ 放 $T2=T_{\text{sunset}} - 75 \text{ min}$
	阴天	揭 $T1=T_{\text{sunrise}} + 95 \text{ min}$ 放 $T2=T_{\text{sunset}} - 115 \text{ min}$
日光温室 II (H) Solar greenhouse II	晴天	揭 $T1=T_{\text{sunrise}} + 40 \text{ min}$ 放 $T2=T_{\text{sunset}} - 40 \text{ min}$
	阴天	揭 $T1=T_{\text{sunrise}} + 60 \text{ min}$ 放 $T2=T_{\text{sunset}} - 60 \text{ min}$

注: T_{sunrise} 表示日出时间, T_{sunset} 表示日落时间, 具体时间根据夜间温度动态调整, 温度差不超过 1°C , 时间差不超过 10 min

Note: T_{sunrise} indicates the sunrise time, and T_{sunset} indicates the sunset time. The specific time is dynamically adjusted according to the night temperature. The temperature difference does not exceed 1°C , and the time difference does not exceed 10 min

其中表 1 中的 T_{sunrise} 和 T_{sunset} 的计算公式如下:

$$T_{\text{sunrise}} = 12 - \left(\frac{12}{\pi}\right)\omega_0 \quad (1)$$

$$T_{\text{sunset}} = 24 - T_{\text{rise}} \quad (2)$$

式 (1) 中 ω_0 为日末时的时角:

$$\omega_0 = \arccos(-\tan \varphi \cdot \tan \delta) \quad (3)$$

(3) 式中可计算出 $+\omega_0$ 和 $-\omega_0$ 两个值, 正值
为日末的时角, 负值为日出的时角。

φ 代表纬度, 赤纬 (δ) 可按王炳忠^[18]的方法计算。

1.4 指标测定

(1) 气温测定: 温室内两个观测点位, 室内垂直高度 1.6 m, 温室外一个观测点位, 垂直高度 1.6 m。

(2) 光照时长的测定: 温室内两个观测点位, 温室外一个观测点位, 和气温观测点位在相同位置。气象数据均由有线温室娃娃测定。

(3) 樱桃番茄光合作用的测定: 净光合速率 (P_n)、蒸腾速率 (T_r)、气孔导度 (G_s) 和胞间 CO_2 (C_i) 等光合相关指标用 GFS-3000 光合仪测定。

(4) 盛果期在各处理随机采 50 个鲜果样测定番茄果实的品质。可溶性固形物用手持式数显糖度计测定(TD-45); 可溶性总糖用 H_2SO_4 -蒽酮比色法测定; 有机酸的测定用酸碱滴定法; Vc 用钼蓝比色法测定^[19]; 糖酸比=可溶性糖/有机酸。

(5) 樱桃番茄产量的测定: 记录每次的采收日期, 各处理的番茄产量按小区田间实测。记录各小区每次采收果实的重量及个数, 计算平均单果重和平均单株产量, 最后折合成单位面积产量。

1.5 数据处理

采用 Microsoft Excel 2010、SPSS 17.0 和 Origin 2018 进行数据处理。

2 结果与分析

2.1 日光温室不同揭放保温被时间对室内环境因素的影响

2.1.1 日光温室不同揭放保温被时间对室内光照时长的影响 在日光温室番茄生产中, 越冬栽培是非常重要的一个时期。而番茄是喜光类作物, 光照条件是影响番茄健康生长及产量形成的基础和保障^[20]。樱桃番茄虽然是中日性植物, 对光周期要求不严格, 但是一些试验表明^[21], 冬季延长光照时间可以促进番茄生长, 提高产量改善品质。由表 2 可知, 随着生育期的推进, 两处理的光照时长都在增加, H 处理最长可达到 11.92 h, CK 处理最长可到达 10.83 h。在番茄的不同生育期, 无论是晴天还是阴天, H 处理的光照时长都始终大于 CK 处理, 且在幼苗期增加的幅度大于其他两个时期。

2.1.2 日光温室不同揭放保温被时间对空气温度的影响 樱桃番茄也是喜温性蔬菜, 在正常情况下, 生长发育的适宜温度为 $20\sim 25^{\circ}\text{C}$ 。樱桃番茄不同生育时期对温度的要求和反应不同。由表 3 可知, 幼苗期生长适温为 $10\sim 25^{\circ}\text{C}$, H 处理和 CK 处理的平均温度均在这个范围内, 满足番茄的生长需求。开花坐果期对温度反应比较敏感, 生长适温为 $15\sim 30^{\circ}\text{C}$, H 处理的平均温度为 14.8°C , 虽未达到最适温度, 但好在只相差 0.2°C , 生产上可以接受; CK 处理的平均温度达到了最适温度的要求。结果期的适宜温度为 $16\sim 28^{\circ}\text{C}$, H 和 CK 的平均温度均在最适范围内。3 个时期的平均最低温都低于最适温度, 但是番茄幼苗对温度适应性强, 所以栽培中常利用这一特点对幼苗进行抗寒锻炼, 可使幼苗短时间忍受 0°C 或者 -3°C ^[22]。而最高平均温度都高于最适温度, 由于昼夜温差大, 有利于果实有机物的积累, 所以该温度符合生产中的要求。

表 2 不同揭放保温被时间对温室内光照时长的影响

Table 2 Effect of different uncovering and covering time of thermal blankets on the duration of illumination in the greenhouse

生育期 Growth period	起止时间 (月-日) Starting and end time (Month/date)	天气状况 Weather condition	揭棉被时间		放棉被时间		光照时长/min		增加百分率/% Increase percentage	
			Time for uncovering the insulation		Time for covering the insulation		Light duration			
			H	CK	H	CK	H	CK		
幼苗期 Seedling stage	01-01—01-10	晴	8:55	9:30	17:00	16:30	485	420	15.5	
		阴	9:15	9:50	16:40	15:50	445	360	23.6	
开花坐果期 Flowering and fruiting period	01-11—01-20	晴	8:50	9:30	17:10	16:30	500	420	19.1	
		阴	9:10	9:50	16:50	16:00	460	370	24.3	
	01-21—01-31	晴	8:50	9:20	17:20	16:30	510	430	18.6	
		阴	9:10	9:40	17:00	16:10	470	390	20.5	
	02-01—02-10	晴	8:40	9:20	17:30	16:50	530	450	17.8	
		阴	9:00	9:40	17:10	16:30	490	410	19.5	
		02-11—02-25	晴	8:30	9:00	17:50	17:00	560	480	16.7
			阴	8:50	9:30	17:30	16:30	520	420	23.8
		02-26—03-05	晴	8:20	9:00	18:05	17:30	585	510	14.7
			阴	8:40	9:20	17:45	16:50	545	450	21.1
03-06—03-15		晴	8:05	8:30	18:15	17:30	610	540	13.0	
		阴	8:30	9:00	17:55	17:00	565	480	17.7	
结果期 Fruiting period	03-16—03-25	晴	7:50	8:10	18:25	17:50	635	580	9.5	
		阴	8:10	8:30	18:05	17:00	595	510	16.7	
	03-26—04-05	晴	7:35	8:00	18:35	18:00	660	600	10.0	
		阴	8:00	8:20	18:15	17:30	615	550	11.8	
	04-06—04-15	晴	7:15	8:00	18:45	18:00	690	600	15.0	
		阴	7:30	8:20	18:25	17:30	655	550	19.1	
04-16—04-26	晴	7:00	7:30	18:55	18:20	715	650	10.0		
		阴	7:20	7:50	18:35	18:00	675	610	11.0	

注: 从 2018 年 1 月 1 日到 2018 年 4 月 26 日, 只针对晴天和阴天进行统计分析。在不同生育期以 10 d 为一个单位, 揭放保温被时间为 10 d 的平均值

Note: From January 1, 2018 to April 26, 2018, statistical analysis is only specific to sunny and cloudy days. In different growth periods, 10 days are taken as a unit, and the time for uncovering the insulation is an average of 10 days

表 3 不同揭放保温被时间对温室内空气温度的影响

Table 3 Effect of different uncovering and covering time of thermal blankets on the temperature of the air in the greenhouse

生育期 Growth period	平均最低气温/°C		平均最高气温/°C		平均空气温度/°C		番茄所需温度/°C Temperature required for tomatoes	是否达到所需温度/°C Whether the required temperature is reached	
	Average minimum air temperature		Average maximum air temperature		Average air temperature			H	CK
	H	CK	H	CK	H	CK			
幼苗期 Seedling stage	6.4	5.6	28.2	31.5	12.9	11.6	10~25	是	是
开花坐果期 Flowering and fruiting period	7.1	6.5	31.0	32.3	14.8	15.1	15~30	否	是
结果期 Fruiting period	12.7	13.4	32.7	33.8	20.0	20.9	16~28	是	是

注: 平均最低气温、平均气温和平均最高气温均为每一个时期内逐日的平均值。下同

Note: The average minimum temperature, the average temperature and the average maximum temperature all stand for the daily average value in each period. The same below

2.1.3 日光温室不同揭放保温被时间对土壤温度的影响 一般来说, 樱桃番茄根系生长最适土壤温度为 20~22°C^[23]。但根据前人^[24-25]的研究结果可知,

冬季日光温室内番茄土温在 12~25°C 之间。由表 4 可知, 相比于 CK, H 处理的平均土壤温度略微高于 CK, 且在结果期达到了番茄生长的最适土壤温

度。在幼苗期，由于外界温度过低，且遇到连续阴天（甚至雪天）导致温室内气温和土温明显过低，H和CK处理的平均土温未达到番茄所需温度。而

在开花坐果期和结果期，平均最低土温、平均最高土温和平均土温明显升高，平均土温均满足樱桃番茄所需温度。

表 4 不同揭放保温被时间对温室内土壤温度的影响

Table 4 Effect of different uncovering and covering time of thermal blankets on soil temperature in greenhouse

生育期 Growth period	平均最低土温/°C Average minimum soil temperature		平均最高土温/°C Average maximum soil temperature		平均土温/°C Average soil temperature		番茄所需温度/°C Temperature required for tomatoes	是否达到所需温度/°C Whether the required temperature is reached	
	H	CK	H	CK	H	CK		H	CK
	幼苗期 Seedling stage	11.77	10.02	16.09	14.28	13.93		12.36	12~20
开花坐果期 Flowering and fruiting period	13.66	12.39	24.66	22.87	16.08	15.4	15~25	是	是
结果期 Fruiting period	17.11	17.70	26.47	24.53	20.06	19.97	15~20	是	是

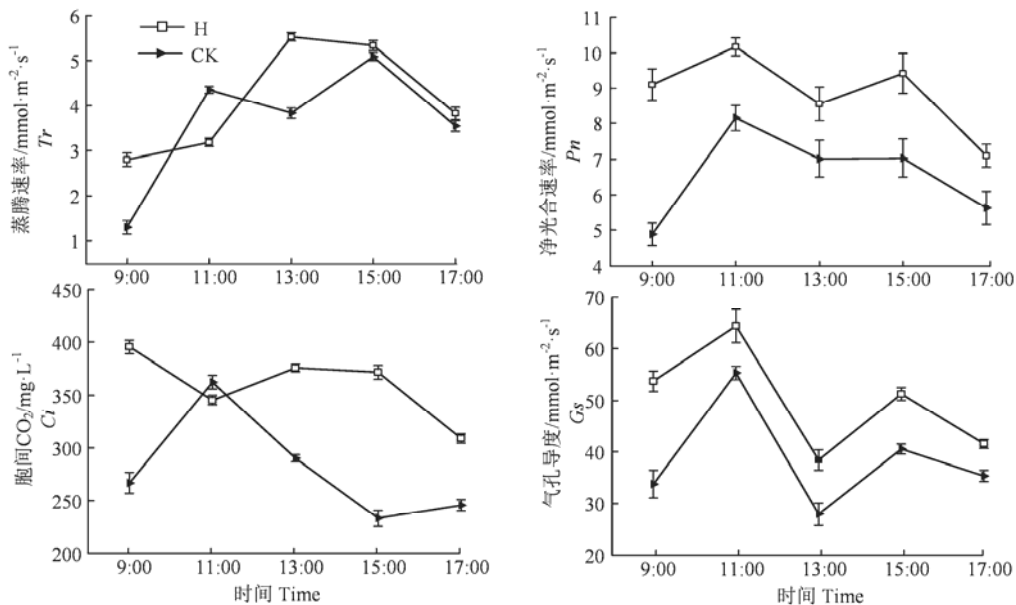


图 1 不同揭放保温被时间对樱桃番茄光合作用的影响

Figure 1 Effects of different uncovering and covering time of thermal blankets on photosynthesis of cherry tomatoes

表 5 不同揭放保温被时间对樱桃番茄品质的影响

Table 5 Effects of different uncovering and covering time of thermal blankets on the quality of cherry tomatoes

处理 Treatment	Vc /mg·100 g ⁻¹	可溶性糖/% Total soluble sugar	可溶性固形物/% Soluble solid	有机酸/% Organic acid	糖酸比 Sugar-acid ratio
H	17.39±0.21 ^a	9.48±0.45 ^a	6.57±0.06 ^a	0.52±0.00 ^a	18.34±0.81 ^a
CK	15.74±0.33 ^b	7.03±0.11 ^b	6.13±0.06 ^b	0.53±0.00 ^a	13.26±0.19 ^b

注：表格中数值（均值±标准差）后不同小写字母表示不同处理间在 0.05 水平差异显著，下同

Note: The lowercase letters after the numerical values (mean ± SD) in the table indicate significant difference at the 0.05 level, and the same below

2.2 日光温室不同揭放保温被时间对樱桃番茄光合作用日变化的影响

由图 1 可知，从 9:00 到 17:00，H 处理和 CK 处理的蒸腾速率(Tr, transpiration rate)在 9:00、11:00 和 13:00 有显著性差异，且 9:00 的蒸腾速率最低；净光合速率(Pn, net photosynthetic rate)在 5 个时间点都有显著性差异，11:00 出现最大值，且 H 处

理大于 CK 处理；胞间二氧化碳(Ci, intercellular carbon dioxide)只在 11:00 没有显著性差异，其他时间点都有显著性差异；气孔导度(Gs, stomata conductance)和净光合速率呈现出相同的规律，气孔导度表示的是气孔张开的程度^[26]，和净光合速率呈正相关关系。由 Pn、Tr、Ci 和 Gs 4 个指标可以看出，H 处理可以提高樱桃番茄的光合作用。

表 6 不同揭放保温被时间对樱桃番茄产量的影响

Table 6 Effects of different uncovering and covering time of thermal blankets on the yield of cherry tomatoes

处理	单株总果数/个	平均单果重/g	单株产量/kg	单位面积产量/g·hm ⁻²	总产量/kg
Treatment	Total fruit number per plant	Single fruit weight in average	Yield per plant	Yield per unit area	Total yield
H	164±13 ^a	11.57±0.54 ^a	1.90±0.23 ^a	70 500.00±5 014.25 ^a	2 937.87±10 ^a
CK	129±16 ^b	10.79±0.92 ^a	1.39±0.78 ^b	51 500.00±4 098.65 ^b	2 391.45±13 ^b

2.3 日光温室不同揭放保温被时间对樱桃番茄品质的影响

由表 5 可知, H 处理对樱桃番茄果实的 Vc、可溶性糖、可溶性固形物、糖酸比都有极显著影响, 明显提高了其相对含量。与 CK 相比, Vc 增加了 10%, 可溶性糖增加了 35%, 可溶性固形物增加了 7%, 糖酸比增加了 39%。H 对樱桃番茄的有机酸没有显著的影响。但可以看出, 果实有机酸含量有略微下降, 所以 H 处理对樱桃番茄的风味有改善。

2.4 不同揭放保温被时间对樱桃番茄产量的影响

由表 6 可知, 与 CK 相比, H 处理对樱桃番茄的总坐果数、单株产量以及总产量都有极显著影响, 对单位面积产量具有显著影响, 对平均单果重影响不显著。与 CK 相比, 其中总果数 H 处理多 35 个, 单株产量 H 增加了 36.69%, 单位面积产量 H 增加了 36.89%, 而总产量 H 增加了 22.83%。这说明 H 处理可以增加樱桃番茄的单株产量以及总产量。

3 日光温室揭放保温时间自动控制装置设计

3.1 设计思路

本地温室大棚自动化控制系统为自动和手动模式, 两种模式独立运行。系统在自动模式下, 控制层(专用控制器)将自动控制的逻辑运用专用开发语言编程, 实现对执行层(各电机及传感器)自动化的控制。该装置对温室内环境数据进行实时采集, 通过在手机上安装软件(温室管家), 利用公式计算每天的日出日落时间, 以及天气预报预测第 2 天的天气状况, 针对不同的天气状况, 以日出日落时间为基础, 设置不同的揭、放保温被方案($T=日出/日落 \pm X \text{ min}$), 通过专用控制箱对电机进行自动控制。同时对所采集数据的储存并通过无线射频网络传送到集中监控终端(人机界面), 方便数据分析和研究。因此该装置包括了传感器, 专用一体化控制箱(含继电器), 手机 APP, 液晶显示屏, 电机, 限位器等器件。如果出现网络不通, 或者极端天气情况下, 需要在手动模式下进行, 管理员可在人机界面和控制箱面板按钮点击控制电机运行。

3.2 设计要求

实现保温被的自动揭放并稳定、可靠地实施运

行, 基于以下考虑: (1) 实时监测。采集数据能够准确及时传送给监控终端, 只要保证不断电的情况下, 温室内的环境数据都能准确的采集并储存。另外该装置还配备了实时监控系统, 实施操作时即使没有人在温室旁边, 都能随时知道保温被所处的位置。

(2) 自动化。不需要管理员定时揭放棉被, 只要提前在手机上勾选出晴天或者阴天的方案, 系统会定时给电机发出指令, 自动操作。(3) 灵活性。如果遇到突发天气状况又不能亲自到场, 可以通过手机直接操作, 或者监控, 避免温室内蔬菜遭受伤害。

(4) 省时省力。系统自动操作, 管理员节省了时间去完成温室内其他的工作。(5) 安全性。防止保温被过翻或者内翻, 专门在相应的位置配备了限位器, 到了位置会断电停止操作。

3.3 系统整体设计

3.3.1 硬件设计 本系统主要分为人机交互展示系统、数字化采集控制自动化控制系统、现场环境因子探测系统、现场动作执行反馈系统以及远程监控系统这 5 个系统组成。系统采用人机界面、专用一体化控制器与一体化传感器为核心硬件, 使用 MCGS 组态软件及单片机开发系统为系统的核心开发软件, 保证现场自动化系统的稳定性、易用性、安全性和高效性。

系统结构为应用层、网络层、物理层三层式结构, 系统整体设计框架如图 2 所示。

(1) 其中应用层包括人机界面、专用一体化控制箱、执行电机和手机 APP。其中人机界面, 实行执行数据的显示, 系统监控等功能; 其中处理器为 A8-600 MHz, 内存 128 M, 组态软件是 MCGS 嵌入版 7.7, 输入电压为 $(24 \pm 20) \% V$; 专用一体化控制箱采集传感器因子数据信息, 给定控制指令到中间继电器或者接触器等; 其中处理器为 SPM32-72MHz, 开关量输入输出均为 8 路, 支持无线 433 和 GPRS-4G; 执行电机是为卷帘机的升降提供动力; 手机 APP 主要负责控制执行方案的输入以及操作。

(2) 网络层。根据通信距离, 无线通信技术分为短距离无线通信技术和长距离无线通信技术^[27], 无线 433 和 ZigBee, WiFi 都属于短距离无线通信技

术^[28],无线 433 使用 433 MHz 无线频段,无线信号的穿透性更强,信号更稳定,自动化准确率高。输入电压和人机界面相同。

(3) 物理层包括六合一参数传感器和监控器。传感器为六参数(温度、湿度、光照、土壤温度、土壤湿度和 CO₂ 浓度)合一无线传感器,支持的通信网络技术为无线 433,通信距离约 1 000 m,通信协议是标准 Modbus-rtu。监控器主要负责远程监控电机的执行情况。



图 2 整体设计框架

Figure 2 Overall design of the framework

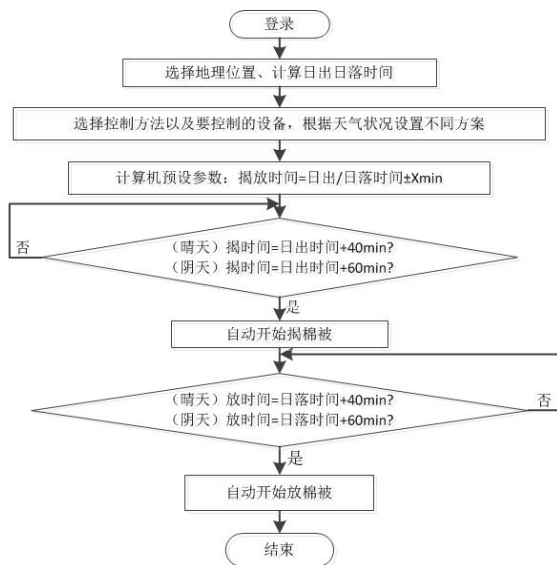


图 3 软件流程图

Figure 3 Software flow chart

3.3.2 软件设计 日出日落时间可以通过计算机编程计算得到,任何经纬度下的时间都可实现。软件流程图如图 3 所示。为了方便操作和实时观测温室

环境数据变化,该软件安装在手机(Android 版本)上,当然也可以远程操作,该装置还配备了远程监控系统,可以清楚地查看保温被的运行轨迹。为了保证保温被翻过或者内翻,在温室的顶部和底部分别安装了限位器。

4 讨论与结论

本试验以园区管理员经验揭放保温被时间为对照,通过比较 H 和 CK 的光照时长、空气温度和土壤温度,可以直观清楚地了解两温室室内环境的变化;同时,两个温室内种植同一品种的樱桃番茄,通过比较樱桃番茄的生长特性、品质和产量等,可以更进一步确定 H 优于 CK,这方面和其他学者^[9, 11]完全不一致。另外本试验只考虑了晴天和阴天两种天气状况,而对于多云天,本试验暂时没有合适的方案,但是建议下一步可以详细研究。

本试验利用日出日落为基础,根据天气不同设计不同的揭放棉被时间。与经验揭放棉被时间相比,光照时长增加 9.48%~24.32%,这一结果与黄丹丹等^[29]利用温度预测模型的结果是相似的,该方法光照时长延长了 15.15%。同时 H 处理可以提高樱桃番茄的蒸腾速率(Tr)、净光合速率(Pn)、和胞间 CO₂ 浓度(Ci)以及气孔导度(Gs),这与丁小涛等^[30]研究 LED 补光对番茄光合特性的影响的结果有些不同,其中补光对净光合速率都有促进作用,但 LED 补光对蒸腾速率(Tr)、胞间 CO₂ 浓度以及气孔导度的影响不明显。

另外该自动装置含有专用控制箱(含继电器),通信网络为无线 433,与刘焕宇^[15]基于 Zigbee 技术设计的温室卷帘控制装置相比,该装置智能、方便、安全。且该装置的应用层是手机,控制方案是以日出日落为设计依据,使用灵活方便,可以根据天气情况随时控制棉被的揭放。该装置最大的优点是设置方便,对应用的人群没有特殊的要求。

在樱桃番茄的不同生育期,不论晴天或者阴天情况, H 处理比 CK 的光照时长最多增加 24.32%,最少增加 9.48%。H 处理的平均空气温度基本满足樱桃番茄所需温度,仅有开花坐果期与适宜温度相差 0.2℃。对于土壤温度,由于冬季外界温度太低,温室内土壤温度偏低,但 H 和 CK 的平均土壤温度均未达到樱桃番茄的适宜温度。

在盛果期, H 处理的净光合速率(A)和气孔导度(Gs)显著高于 CK 处理;在 9:00、11:00 和 13:00, H 处理的蒸腾速率显著高于 CK 处理;在 9:00、13:00、15:00 和 17:00, H 处理的胞间 CO₂

(Ci) 显著高于 CK 处理。H 处理的樱桃番茄果实的 Vc 含量、可溶性糖、可溶性固形物和糖酸比分别比 CK 增加了 10%、35%、7% 和 39%。H 处理的樱桃番茄的总果数、单株产量、单位面积产量以及总产量分别比 CK 增加了 27.13%、36.69%、36.89% 和 22.83%。

日光温室揭放保温被时间自动控制装置以日出日落时间为依据, 硬件设备包括人机界面、专用一体化控制器(含继电器)、六合一无线传感器、电机等, 支持无线 433 的短距离通讯技术, 目前该装置应用灵活、方便、智能以及安全, 并且可以同时控制多个日光温室的揭放保温被时间。

参考文献:

- [1] 李天来. 我国日光温室产业发展现状与前景[J]. 沈阳农业大学学报, 2005, 36(2): 131-138.
- [2] 方虹. 国内外日光温室技术装备的研究与应用分析[J]. 农业科技与装备, 2014(5): 40-41.
- [3] 武国胜, 李劫. 提高北方日光温室保温效能的方法[J]. 陕西农业科学, 2007, 53(5): 88-89.
- [4] 韩颖. 我国北方温室环境因子的科学分析与管理[D]. 延吉: 延边大学, 2006.
- [5] 李天来. 设施蔬菜栽培学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2011.
- [6] 闫文凯, 张雅婷, 张玉琪, 等. LED 株间补光对日光温室番茄产量及光合作用的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2018, 46(7): 132-138, 146.
- [7] 张彩虹, 于秀针, 马彩雯, 等. 升降式系统补光对弱光条件下日光温室番茄生长及产量品质的影响[J]. 中国农机化学报, 2017, 38(7): 54-58.
- [8] 李海达, 吉家曾, 郑桂建, 等. 不同 LED 补光光源对樱桃番茄产量和品质的影响[J]. 广东农业科学, 2014, 41(14): 37-40, 46.
- [9] 刘瓊瑛, 丁为民, 张剑锋. 日光温室保温帘揭盖时间的确定[J]. 农业工程学报, 2004, 20(4): 230-233.
- [10] 曹建国, 崔建旭. 长治塑料日光温室小气候状况分析及改善措施[J]. 山西气象, 1994(1): 47-48.
- [11] 王英师, 陈建中, 陈永杰. 揭帘、盖帘时间与日光温室室内气温变化的关系[J]. 湖北农业科学, 2014, 53(7): 1524-1527.
- [12] 钟岩, 罗新兰, 李炳海, 等. 沈阳地区日光温室揭盖苦时间的模拟[J]. 江苏农业科学, 2009, 37(3): 394-396.
- [13] 李国师, 刘瑞雪, 杜传均. 日光温室保温性能的观测分析[J]. 安徽农业科学, 1995(2): 153-154.
- [14] 张国祥, 傅泽田, 张领先, 等. 中国日光温室机械卷帘技术发展现状与趋势[J]. 农业工程学报, 2017, 33(S1): 1-10.
- [15] 刘焕宇. 基于 ZigBee 技术的温室卷帘控制系统设计[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2017.
- [16] 裴雪. 日光温室温度预测模型与卷帘智能控制方法研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2018.
- [17] 石建业, 罗有中, 王娇敏, 等. 日光温室卷帘机自动控制技术研究与应用[J]. 中国农业信息, 2017(8): 77-79.
- [18] 王炳忠. 太阳辐射计算讲座 第一讲 太阳能中天文参数的计算[J]. 太阳能, 1999(2): 8-10.
- [19] 张志良, 瞿伟菁, 李小方. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2009.
- [20] FRANKLIN K A, LARNER V S, WHITELAM G C. The signal transducing photoreceptors of plants[J]. Int J Dev Biol, 2005, 49(5/6): 653-664.
- [21] 王舒亚, 吕剑, 郁继华, 等. 不同补光时长对日光温室番茄生长、产量及品质的影响[J]. 中国蔬菜, 2018(10): 35-39.
- [22] 苏伟. 番茄生长期对环境条件的要求[J]. 吉林蔬菜, 2010(6): 28-29.
- [23] 王秀峰. 蔬菜栽培学各论: 北方本[M]. 4 版. 北京: 中国农业出版社, 2011.
- [24] 任志雨. 根区温度对番茄生长和产量的影响[J]. 天津农业科学, 2006, 12(3): 15-16.
- [25] 刘秀茹, 葛晓光. 地温及营养面积对番茄秧苗生育及素质的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 1988, 19(3): 29-36.
- [26] 何晖. 日光温室番茄气孔导度变化规律研究[J]. 河南农业科学, 2008, 37(8): 104-108.
- [27] 高峰, 俞立, 张文安, 等. 现代通信技术在设施农业中的应用综述[J]. 浙江林学院学报, 2009, 26(5): 742-749.
- [28] 李快快, 张东. 一种 433MHz 无线传感器网络的设计与应用[J]. 信息技术, 2014, 38(1): 131-134.
- [29] 黄丹丹, 张士秀, 贾淑霞, 等. LED 补光对番茄光合特性的影响[J]. 中国农学通报, 2014, 30(22): 102-108.
- [30] 丁小涛, 姜玉萍, 王虹, 等. LED 株间补光对番茄生长和果实品质的影响[J]. 上海农业学报, 2016, 32(6): 48-51.