

# 柴达木盆地温室西瓜生育期 气象服务指标研究

雷玉红<sup>1,2</sup>,李春晖<sup>2</sup>,邓海峰<sup>2</sup>,马亮<sup>2</sup>,  
颜亮东<sup>1</sup>,哈金龙<sup>2</sup>,李积芳<sup>2</sup>

(1. 青海省防灾减灾重点实验室,青海 西宁 810001; 2. 青海省格尔木市气象局,青海 格尔木 816099)

**摘要:**为凝练柴达木盆地西瓜温室种植的气象服务指标,于2022—2023年在柴达木盆地诺木洪地区开展了为期2a的西瓜温室栽培试验,观测获取不同播期设施西瓜的生长周期、各阶段发育期、产量及其构成因素等数据,利用同期温室内对应气温、空气相对湿度、地温及CO<sub>2</sub>浓度等气象要素进行相关性分析。结果表明:不同播期设施西瓜的生育期平均日数为80~135d,4月中旬~6月上旬热量条件较好,西瓜能获得较高的产量,两年产量可维持于7.12~16.14kg之间;对病虫害红蜘蛛、白粉病的发生发展规律进行研究发现,5—9月的气象条件均能引起这两种病虫害的发生;将西瓜产量与不同气象指标进行相关性分析发现,膨大~成熟期、成熟~收获期日平均气温与产量之间,抽蔓~坐果期相对湿度与产量之间,坐果~膨大期CO<sub>2</sub>浓度与产量之间存在显著或极显著的相关关系,同时得出了西瓜各发育期气象要素适宜指标值。

**关键词:**温室西瓜;播期;观测试验;气象服务指标;柴达木盆地

**中图分类号:**S651;S162.5 **文献标志码:**A

## Meteorological service indicators for growth period of greenhouse watermelon in the Qaidam Basin

LEI Yuhong<sup>1,2</sup>, LI Chunhui<sup>2</sup>, DENG Haifeng<sup>2</sup>, MA Liang<sup>2</sup>, YAN Liangdong<sup>1</sup>, HA Jinlong<sup>2</sup>, LI Jifang<sup>2</sup>

(1. Qinghai Provincial Key Laboratory of Disaster Prevention and Reduction, Xining, Qinghai 810001, China;

2. Golmud Meteorological Bureau of Qinghai Province, Golmud, Qinghai 816099, China)

**Abstract:** To enhance meteorological service indicators for watermelon greenhouse cultivation in the Qaidam Basin, a two-year cultivation experiment was conducted in the Nomuhong area from 2022 to 2023. The experiment provided comprehensive data on the growth cycle, developmental stages, yield factors, and yield of greenhouse-grown watermelon of different sowing dates over the observation period. Correlation analysis was conducted using corresponding meteorological factors such as temperature, relative humidity, ground temperature, and CO<sub>2</sub> concentration in the greenhouse during the same period. The results showed that the average duration of the growth period of facility watermelons ranged from 80 to 135 days. When planted from mid-April to early June with better heat conditions, the watermelon achieved higher yields, the two-year yield of watermelon was maintained between 7.12 kg to 16.14 kg. Research on the occurrence and progression of diseases and pests, including red spider mites and powdery mildew, revealed that meteorological conditions from May to September were conducive to their emergence and spread. The correlation analysis between watermelon yield and different meteorological indicators showed that the correlation between the average daily temperature during bulking to mature stage and mature to harvest stage and yield, and the correlation between relative humidity during vines to fruiting stage and yield, and the correlation between CO<sub>2</sub> concentration during fruiting to bulking stage and yield were significant or extremely significant. At the same time, optimal meteorological indicators for different stages of watermelon development were determined.

**Keywords:** greenhouse watermelon; sowing date; observation experiment; meteorological service indicators; Qaidam Basin

设施农业是发展高效农业的主要方向之一,作为果蔬进行反季节种植、防御自然灾害和实现高产优质的措施,设施栽培是当前在果蔬生产中应用广泛、成效显著的栽培形式<sup>[1-5]</sup>。

目前,国内外对青海省柴达木盆地设施果蔬农业气象服务指标体系分析大多处于研究成果引用阶段,进一步实用化、本地化、转化科技成果服务于农业生产成为当务之急。西瓜在我国特别是北方地区已成为很多设施栽培的主栽作物,作为重要的食用水果,其具有适应性强、结果期长、产量较高等特点<sup>[6-9]</sup>。为凝练柴达木盆地温室西瓜种植的气象服务指标,本研究在柴达木盆地诺木洪地区开展了为期2 a的西瓜温室栽培试验,通过在温室内进行西瓜分期种植,筛选设施作物生长发育的农业气象指标,确定温室内适宜高产的农业气象指标和种植时间段,以期形成柴达木盆地设施作物较为完善的气象服务指标体系,为开展设施作物气象服务制作专项方案奠定基础。同时通过逐步熟悉农业生产规律,掌握作物各生育时期对气象条件的需求,围绕现代农业生产不同环节和设施作物生长发育的具体需求,提供针对性强的防护措施,为提升柴达木盆地西瓜温室种植的气象服务效益提供技术支撑。

## 1 资料与方法

### 1.1 数据来源

试验数据来源于青海省都兰县诺木洪气象站设施农业气象试验温室内观测获取的设施作物生长周期、各阶段发育期、产量及其构成因素等;气象资料为同期2022、2023年室内观测数据,包括日平均气温、最高气温、最低气温、空气相对湿度、地温及CO<sub>2</sub>浓度等。

### 1.2 研究方法

采用数理统计分析法,探讨设施西瓜生长各阶段要素指标与气象要素之间的关系,确定主要影响因子和影响时段,对柴达木盆地设施西瓜温棚培育气候适宜性开展研究。因2022年西瓜部分发育期资料缺失,本文产量与气象条件的相关性分析采用2023年观测数据。

## 2 试验温室及试验设计

### 2.1 试验温室

试验地为诺木洪气象站的常规单层钢化玻璃设施农业气象试验温室,四周基础采用钢筋混凝土预制件、点式基础;立柱为独立结构,采用不锈钢材

质;覆盖材料采用钢化玻璃;温室南北朝向,高度分别为2.6、3.0 m,东西长20 m,南北宽8 m,占地面积160 m<sup>2</sup>。侧面及温棚后部留有通风口,具有一定的抗风载、抗雪载能力;温室土壤为沙壤土,肥力中等。

### 2.2 试验设计

以室内常规观测的气象数据作为平行观测资料。2022年试验从6月7日开始,共3个播期,6月7日为第一期播种日,6月18日为第二期播种日,7月21日为第三期播种日;2023年试验从3月15日开始,共3个播期,3月15日为第一期播种日,4月15日为第二期播种日,5月15日为第三期播种日;试验期为1个设施作物(西瓜)发育期。植株行间距50 cm,分批覆膜播种,每穴2~4粒种子。于每年8月18日—10月20日进行采摘收获。试验小区随机排列,管理措施基本相同,有灌溉条件,地下水位深度大于2 m。

供试品种为‘美味’西瓜,种子购于格尔木市好丰收农资销售部(两袋约100 g)。试验期间西瓜长势稳健,气象条件满足的情况下易坐瓜,果型圆整,果皮浅绿底覆有深绿色浅齿镂空条带,果肉艳丽,肉质细脆多汁,中心含糖率高达13%,产量较高。

试验地各播期西瓜全生育期灌水5~6次,于4—8月进行;生育期施用磷酸二铵、复合肥各6次,每次各施肥1 kg,施肥时间为4—8月;全生育期除草3次,于5—8月进行;生育期使用袋装除虫剂(吡啶醚菌酯、卡米诺)和瓶装除虫剂(高效氯氟氰菊酯、野田桔螨酯、除虫菊素)进行病虫害防治,从6月20日开始每周进行一次喷施,每次喷施量为20 ml。

## 3 结果与分析

### 3.1 设施西瓜生长发育期气象条件分析

从气象资料中分析可知,设施西瓜试验生长季平均气温为21.6~23.3℃,最高气温为42.1~44.4℃,最低气温为9.4~12.5℃,空气相对湿度为63%~68%,0~40 cm地温为18.7~26.9℃,CO<sub>2</sub>浓度为0.0498%~0.0568%,气象条件满足了西瓜生长关键期生长需求。

2022年西瓜发育期为播种、发芽、幼苗、抽蔓、结果、收获6个阶段;2023年西瓜发育期为播种、发芽、幼叶、抽蔓、坐果、膨大、成熟、收获8个阶段。

2022年3个不同播种期的西瓜平均生长期日数为81 d,3期生长期基本一致。播种~发芽期平均间隔日数为9 d,发芽~幼苗期平均间隔日数为16

d, 幼苗~抽蔓期间隔日数平均为 15 d, 抽蔓~结果期间隔日数平均为 41 d。

2023 年 3 个不同播期的西瓜平均生长期为 131 d, 第二播期西瓜生长期偏长(135 d), 第一、三播期生长期相同(128 d)。播种~发芽期间隔日数 3 期平均为 12 d, 最长为第一期(16 d), 最短为第三期(7 d), 相差 9 d; 发芽~幼叶期平均间隔日数为 14 d, 第一期偏长; 幼叶~抽蔓期平均间隔日数是 13 d, 第二、三期相近, 第一期稍偏长, 较第二、三期增加 3~6 d; 抽蔓~坐果期平均间隔日数为 14 d, 前两期相近; 坐果~膨大期平均日数为 22 d; 播种~膨大期, 1~3 期平均日数呈明显的递减状态, 第三期总体偏短, 第一期最长。膨大~成熟期平均间隔日数是 39 d, 1~3 期呈明显的递增状态, 第三期偏长(47 d), 第一期最短(29 d)。成熟~收获期平均间隔日数是 25 d, 第一、三期日数基本相近, 第二期相对偏短。两年生育期具体气象条件表现如下:

(1) 播种~发芽期。播种到第一片真叶出现为发芽期。2022 年该时期最高气温为 42.3~48.0℃, 平均为 46.0℃; 日平均气温为 26.3℃, 每日气温基本接近; 最低气温为 12.8~16.6℃; 0~40 cm 地温介于 23.5~30.8℃之间; 相对湿度为 42%以上, 平均值为 51%; CO<sub>2</sub> 浓度平均值约为 0.0550%, 最大值平均为 0.0866%, 最小值平均为 0.0325%; ≥10℃ 积温大于 183.3℃·d, 平均为 227.8℃·d。从 3 期气象条件来看, 该阶段水分和热量条件较好, 有利于西瓜出苗。

2023 年播种~发芽期, 气温介于 16.1~24.0℃之间, 最高气温无明显变化, 日平均气温为 20.1℃, 最低气温为 1.1~11.4℃; 0~40 cm 地温介于 15.5~18.2℃之间; 相对湿度在 58%以上, 平均值为 69%; CO<sub>2</sub> 浓度平均值高于 0.0500%; ≥10℃ 积温高于 168.0℃·d, 平均为 236.8℃·d。从 3 期气象条件来看, 第一、二期平均气温在 20℃以下, 最低气温 1.6~6.1℃, 热量条件较差, 不利于西瓜出苗; 播种~发芽间隔日数达到 14~16 d, 较第三期增加 7~9 d, 三期间隔日数呈递减式缩短。

(2) 发芽~幼叶期。2022 年该阶段最高气温第三期要明显高于其他两期, 介于 41.8~52.6℃之间, 平均为 45.6℃; 日平均气温为 27.7℃; 最低气温介于 15.7~18.4℃之间, 平均为 16.6℃; 0~40 cm 地温介于 25.6~32.5℃之间, 0 cm 地温均超过 30.0℃; 相对湿度在 48%以上, 平均值为 52%, 变化较稳定; CO<sub>2</sub> 浓度平均值为 0.0390%, 最大值平均为 0.0614%, 最小值平均为 0.0319%; ≥10℃ 积温高于 366.5℃·

d, 平均为 438.1℃·d。从 3 期气象条件来看, 平均气温在 26℃以上, 热量条件满足了西瓜幼叶期生长所需。

2023 年发芽~幼叶期, 气温介于 18.3~20.3℃之间, 日平均气温为 20.3℃, 最低气温介于 4.2~14.1℃之间, 平均为 7.4℃; 0~40 cm 地温介于 16.2~19.2℃之间; 相对湿度在 70%以上, 平均值为 72%, 较为稳定; CO<sub>2</sub> 浓度平均值为 0.0500%; ≥10℃ 积温平均为 281.5℃·d, 1~3 期积温呈递减趋势。从 3 期气象条件来看, 平均气温达到 20℃, 基本满足了西瓜幼叶期生长所需; 最低气温有所回升, 但第一、二期最低气温仍低于 10℃, 对西瓜生长有一定影响。

(3) 幼叶~抽蔓期。从团棵到留果节位的雌花开放为抽蔓期, 是营养生长的主要时期, 同时标志着幼叶生长期结束。2022 年该阶段平均最高气温为 39.0℃, 日平均气温为 24.7℃, 平均最低气温为 15.2℃; 0~40 cm 地温介于 24.6~28.2℃之间, 土壤表面温度高于深层温度; 相对湿度平均值为 49%; CO<sub>2</sub> 浓度平均值为 0.0390%, 最大值平均为 0.0477%, 最小值平均为 0.0317%; ≥10℃ 积温平均为 360.9℃·d。从 3 期气象条件来看, 平均气温达到 24.0℃, 基本满足了西瓜抽蔓期生长热量要求; 幼叶~抽蔓期间隔日数 13~18 d, 第一、三期相同, 第二期较其他两期增加 5 d。

2023 年幼叶~抽蔓期, 平均最高气温为 44.0℃; 日平均气温为 23.9℃, 介于 20.5~26.7℃之间; 最低气温 6.3~14.4℃, 平均为 10.3℃; 0~40 cm 地温为 17.0~20.8℃, 土壤表面温度高于深层温度; 平均相对湿度 60%, 表现较为稳定; CO<sub>2</sub> 浓度平均值为 0.0500%; ≥10℃ 积温平均为 306.3℃·d, 第三期积温大于第一、二期。从 3 期气象条件来看, 平均气温达到了 20.0℃, 第一期热量条件较为欠缺, 第二、三期基本满足了西瓜抽蔓期生长热量要求; 第一期最低气温未达到 10.0℃, 不利于西瓜后期生长; 幼叶~抽蔓间隔日数 10~16 d, 第一期均较其他两期偏长, 这和第一期前期西瓜生长发育缓慢有关。

(4) 抽蔓~坐果期。2022 年该阶段日最高气温平均值为 45.9℃; 日平均气温为 24.8℃, 介于 21.2~27.1℃之间; 日最低气温 10.5~15.7℃, 平均为 13.9℃; 0~40 cm 地温为 24.9~29.4℃, 0 cm 地温高于其他各层; 相对湿度 49%~73%, 平均为 59%; CO<sub>2</sub> 浓度平均值 0.0490%, 最大值为 0.0676%, 最小值为 0.0310%; ≥10℃ 积温平均为 1 000.8℃·d, 前两期积温较第三期高 100℃·d 左右。从 3 期气象条件来看, 平均气温达到 24.0℃, 均能较好地满足西瓜坐

果期间的热量需求;相比之下第三期热量条件较其他两期稍差。西瓜抽蔓~坐果期间隔日数为38~44 d。

2023年抽蔓~坐果期,日最高气温除第三期外,其余两期均达到40.0℃,平均为42.9℃;日平均气温24.0℃,变幅为23.0~24.8℃;日最低气温介于8.6~14.3℃之间,平均为11.8℃;0~40 cm地温为18.2~23.0℃,0 cm地温明显高于其他各土层;相对湿度平均值为65%;CO<sub>2</sub>浓度平均值为0.0510%;≥10℃积温平均为326.9℃·d,前两期积温大于第三期。从3期气象条件来看,平均气温达到23.0℃,除第一期最低气温偏小外,其他气象要素均能较好地满足西瓜坐果期间对热量的需求;抽蔓~坐果期间隔日数为10~16 d。

(5)坐果~膨大期。2023年该阶段日最高气温除第三期外,其余两期均达到40.0℃,平均为40.2℃;日平均气温24.8℃,变幅为24.0~25.5℃;最低气温13.7~14.7℃,平均为14.3℃,三期均达到10℃;0~40 cm地温20.7~27.1℃,各层地温均达到20℃;相对湿度平均值为68%;CO<sub>2</sub>浓度平均值为0.0520%;≥10℃积温平均为541.4℃·d。从3期气象条件来看,平均气温达到24.0℃,期间的气象要素均能较好地满足西瓜坐果期间的需求。坐果~膨大期间隔日数12~29 d,前两期长于第三期,跟积温表现情况一致。此阶段至少需要25 d以上的生长才有利于西瓜的果实形成及膨大,而第三期此阶段只用了12 d,对西瓜后期生长有一定影响,形成的果实偏小。

(6)膨大~成熟期。此阶段果实基本定型,生长量转小,而果实内部物质发生变化,糖分转化,特别是蔗糖含量迅速增加,西瓜甜度提高。2023年该阶段日平均气温为25.0℃,日最高气温3期均达到40.0℃以上,平均为41.5℃;日最低气温平均为14.9℃;0~40 cm地温为22.3~27.5℃,各层土温均超过22.0℃;相对湿度平均值为63%;CO<sub>2</sub>浓度平均值为0.0395%;≥10℃积温平均为994.1℃·d,第一期积温明显低于后两期。从3期气象条件来看,平均气温达到25.0℃,期间的气象要素基本能满足西瓜成熟期间的需求;膨大~成熟期间隔日数29~47 d,第一期较后两期偏短,跟积温表现一致。

(7)成熟~收获期。此阶段果实果皮变硬,比较光滑,富有光泽,条纹和网斑变得清晰,出现蜡粉。2022年结果~收获期,日平均气温为20.4℃,3期介于15.3~23.9℃之间;3期日最高气温均达到42℃,平均为45.0℃;日最低气温3.4~11.8℃,平均为

8.9℃;0~40 cm地温21.8~23.6℃,各层地温均达到21℃;相对湿度平均值为75%;CO<sub>2</sub>浓度平均值为0.0480%,最大值平均为0.0967%,最小值平均为0.0287%;≥10℃积温介于122.0~353.9℃·d之间,平均为246.4℃·d,呈递减式变化。从3期气象条件来看,第三期平均气温、最低气温均低于其他两期,特别是其最低气温仅为3.4℃,地温、积温也偏低,对西瓜产量形成有一定影响;其他两期热量条件相对较好,基本满足西瓜结果~收获期间的生长发育的需求。

2023年成熟~收获期,日平均气温为24.1℃,3期介于23.6~24.7℃之间;日最高气温3期均为42.8℃;日最低气温介于11.5~15.1℃之间,平均为13.1℃,3期呈递减式变化;0~40 cm地温介于23.2~28.4℃之间,各层地温均达到23.0℃;相对湿度平均值为65%,3期介于62%~67%之间;CO<sub>2</sub>浓度平均值为0.0390%;≥10℃积温介于391.5~730.4℃·d之间,平均为509.1℃·d;第一期间隔日数28 d,≥10℃积温仅为391.5℃·d,而第二期间隔日数17 d,≥10℃积温达405.5℃·d,第二期的气象条件优于第一期。从3期气象条件来看,平均气温均超过23.0℃,最低气温在11.5℃以上,其他要素变化平稳,期间的气象要素满足西瓜成熟期间的生长发育需求。

## 3.2 设施西瓜产量与气象条件的相关性分析

3.2.1 西瓜产量因素 2022年和2023年每一播期均选取5个西瓜样品进行产量因素测定分析,样品总质量计为产量。由表1可知,2022年,西瓜平均周长及平均直径表现为第二期>第三期>第一期,3期平均周长为45.9 cm。单果平均质量及产量表现为第一期高于其他两期;单果平均质量介于1.42~2.67 kg之间,单果最大质量达5.04 kg,出现在第一期;3期西瓜产量介于7.12~13.37 kg之间,第一期明显高于其他两期。2023年,西瓜平均周长及平均直径表现为第二期>第三期>第一期,3期平均周长为51.0 cm,最长为65.0 cm。单果平均质量及产量也表现为第二期高于其他两期;平均单果质量介于1.84~3.23 kg之间,单果最大质量达5.02 kg,出现在第二期;3期西瓜产量介于9.21~16.14 kg之间。

3.2.2 西瓜产量与日平均气温相关性 从表2可以看出,播种~膨大期间的日平均气温与产量均呈正相关关系,前期相关性较小。抽蔓~坐果期、坐果~膨大期的日平均气温与产量的相关系数分别为0.460、0.589,表现为显著正相关关系( $P<0.05$ );此时段日平均气温为23.0~25.5℃,有利于西瓜坐果期间的生长发育,对西瓜产量的形成有促进作用。

膨大~成熟期、成熟~收获期的日平均气温与产量的相关系数分别为-0.994、-0.465, 分别存在极显著 ( $P<0.01$ ) 和显著 ( $P<0.05$ ) 的负相关关系, 说明膨大~收获期日均气温过高, 反而影响西瓜生长, 这期间要求保持适宜的温度即可。

3.2.3 西瓜产量与日最低气温相关性 从表 3 可以看出, 西瓜生育前期日最低气温与产量的相关性

表 1 2022 年和 2023 年西瓜产量因素

Table 1 Yield factors of watermelon in 2022 and 2023

年份 Year	阶段 Phase	平均周长 Average circumference /cm	平均直径 Average diameter /cm	平均单 果质量 Average single fruit mass/kg	产量 Yield /kg
2022	一期 Phase one	45.4	14.8	2.67	13.37
	二期 Phase two	46.6	16.0	1.63	8.14
	三期 Phase three	45.8	15.8	1.42	7.12
	平均 Average	45.9	15.5	1.90	9.50
2023	一期 Phase one	43.6	13.2	1.84	9.21
	二期 Phase two	57.4	18.0	3.23	16.14
	三期 Phase three	52.0	16.0	2.17	10.84
	平均 Average	51.0	15.7	2.41	12.06

较小。抽蔓~坐果期、坐果~膨大期的日最低气温与产量的相关系数分别为 0.440、0.808, 分别达到显著 ( $P<0.05$ ) 和极显著 ( $P<0.01$ ) 相关; 此时段日最低气温偏高有利于西瓜生长发育, 对最终产量的形成起促进作用。膨大~成熟期、成熟~收获期的日最低气温与产量的相关系数分别为-0.292、-0.405, 均为负相关关系, 其中成熟~收获期的日最低气温与产量的相关性达显著水平 ( $P<0.05$ ), 说明该阶段的日最低气温过高, 不利于西瓜生长。

3.2.4 西瓜产量与相对湿度相关性 从表 4 可以看出, 发芽~收获期间, 产量与相对湿度均表现出较高的相关关系。发芽~幼叶期、抽蔓~坐果期、膨大~成熟期、成熟~收获期的相对湿度与产量呈显著或极显著的正相关关系, 说明这 4 个阶段相对湿度对产量形成表现为正效应。幼叶~抽蔓期、坐果~膨大期的相对湿度与产量的相关系数分别为-0.884、-0.438, 呈显著的负相关关系, 说明这两个阶段保持正常的相对湿度即可, 湿度过大会影响西瓜生长及产量形成。

3.2.5 西瓜产量与 0 cm 地温相关性 从表 5 可以看出, 播种~坐果期的 0 cm 地温与产量的相关性不显著, 说明该阶段的地温对西瓜产量形成影响不大, 保持正常地温即可; 而坐果~膨大期、膨大~成熟

表 2 不同播期西瓜各发育期日平均气温与产量关系

Table 2 The relationship between daily average temperature and yield of watermelon of different sowing dates at different development stages

项目 Item	日平均气温 Daily average temperature/°C							产量 Yield /kg
	播种~发芽期 Sowing~ Germination	发芽~幼叶期 Germination~ Young leaves	幼叶~抽蔓期 Young leaves~ Vines	抽蔓~坐果期 Vines~ Fruiting	坐果~膨大期 Fruiting~ Bulking	膨大~成熟期 Bulking~ Mature	成熟~收获期 Mature~ Harvest	
一期 Phase one	16.100	18.300	20.500	23.000	25.000	25.400	24.700	9.210
二期 Phase two	20.300	20.300	24.400	24.300	25.500	25.100	23.900	16.140
三期 Phase three	24.000	22.300	26.700	24.800	24.000	25.300	23.600	10.840
与产量相关系数 Correlation coefficient with yield	0.260	0.225	0.336	0.460*	0.589*	-0.994**	-0.465**	1.000

注: \* 表示显著相关 ( $P<0.05$ ); \*\* 表示极显著相关 ( $P<0.01$ )。下同。

Note: \* indicates significant correlation ( $P<0.05$ ); \*\* indicates extremely significant correlation ( $P<0.01$ ). The same below.

表 3 不同播期西瓜各发育期日最低气温与产量关系

Table 3 The relationship between daily minimum temperature and yield of watermelon of different sowing dates at different development stages

项目 Item	日最低气温 Daily minimum temperature/°C							产量 Yield /kg
	播种~发芽期 Sowing~ Germination	发芽~幼叶期 Germination~ Young leaves	幼叶~抽蔓期 Young leaves~ Vines	抽蔓~坐果期 Vines~ Fruiting	坐果~膨大期 Fruiting~ Bulking	膨大~成熟期 Bulking~ Mature	成熟~收获期 Mature~ Harvest	
一期 Phase one	1.100	4.200	6.300	8.600	13.700	14.900	15.100	9.210
二期 Phase two	6.100	7.100	10.100	12.600	14.700	14.900	12.700	16.140
三期 Phase three	11.400	10.800	14.400	14.300	14.500	15.000	11.500	10.840
与产量相关系数 Correlation coefficient with yield	0.209	0.156	0.190	0.440*	0.808**	-0.292	-0.405*	1.000

期 0 cm 地温与产量的相关系数分别为 0.421、0.613,呈显著正相关关系( $P<0.05$ ),说明该阶段较高的地温对西瓜产量形成起一定作用,温度越高产量相对越好。

**3.2.6 西瓜产量与 CO<sub>2</sub> 浓度相关性** CO<sub>2</sub> 是植物进行光合作用所需的重要气体,其浓度过低或超过一定限度均会抑制光合作用。从表 6 可以看出,播种~发芽期、抽蔓~坐果期、成熟~收获期 CO<sub>2</sub> 浓度与产量相关性不显著,说明这些阶段 CO<sub>2</sub> 浓度对西瓜生长影响不大。发芽~幼叶期、坐果~膨大期的 CO<sub>2</sub> 浓度与产量分别呈极显著( $P<0.01$ )和显著( $P<0.05$ )的正相关关系,说明这两个阶段较高的 CO<sub>2</sub> 浓度有利于作物光合作用及有机物质的形成,从而促进西瓜生长及产量形成。幼叶~抽蔓期、膨大~成熟期的 CO<sub>2</sub> 浓度与产量均呈显著负相关关系,说明这两个阶段的 CO<sub>2</sub> 浓度不宜过高,保持作物正常所需即可。

**3.2.7 西瓜产量与  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  积温相关性** 从表 7 可以看出,发芽~幼叶期、抽蔓~坐果期、坐果~膨大期、成熟~收获期  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  积温与产量的相关性较小,说明这些阶段积温对西瓜生长影响相对较小。播种~发芽期、膨大~成熟期  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  积温与产量呈显著正相关关系( $P<0.05$ ),说明该阶段较高的积温有利于西瓜生长及产量形成。幼叶~抽蔓期  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  积温与产量呈极显著负相关关系( $P<0.01$ ),说明此期间的积温不能过高,保持于 243.0~350.0  $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$  即可。

### 3.3 设施西瓜病虫害影响因素分析

**3.3.1 西瓜红蜘蛛发生的气象指标** 红蜘蛛属蛛形纲、前气目,危害西瓜的主要是叶螨科的茄子红蜘蛛,或称棉红蜘蛛。西瓜红蜘蛛发病条件是高温干旱<sup>[10-13]</sup>。据观测,西瓜红蜘蛛发生时间段分别为 6 月下旬和 8 月下旬,从这两个时期室内气象要素(图 1、2)来看,其平均气温介于 21.4~29.6 $^{\circ}\text{C}$  之间;

表 4 不同播期西瓜各发育期相对湿度与产量关系

Table 4 The relationship between relative humidity and yield of watermelon of different sowing dates at different development stages

项目 Item	相对湿度 Relative humidity/%							产量 Yield /kg
	播种~发芽期 Sowing~ Germination	发芽~幼叶期 Germination~ Young leaves	幼叶~抽蔓期 Young leaves~ Vines	抽蔓~坐果期 Vines~ Fruiting	坐果~膨大期 Fruiting~ Bulking	膨大~成熟期 Bulking~ Mature	成熟~收获期 Mature~ Harvest	
一期 Phase one	76.000	72.000	75.000	63.000	67.000	66.000	62.000	9.210
二期 Phase two	72.000	74.000	60.000	69.000	66.000	62.000	66.000	16.140
三期 Phase three	58.000	70.000	65.000	64.000	72.000	62.000	67.000	10.840
与产量相关系数 Correlation coefficient with yield	0.083	0.731 *	-0.884 **	0.998 **	-0.438 *	0.682 *	0.531 *	1.000

表 5 不同播期西瓜各发育期 0 cm 地温与产量关系

Table 5 The relationship between 0 cm ground temperature and yield of watermelon of different sowing dates at different development stages

项目 Item	0 cm 地温 0 cm ground temperature/ $^{\circ}\text{C}$							产量 Yield /kg
	播种~发芽期 Sowing~ Germination	发芽~幼叶期 Germination~ Young leaves	幼叶~抽蔓期 Young leaves~ Vines	抽蔓~坐果期 Vines~ Fruiting	坐果~膨大期 Fruiting~ Bulking	膨大~成熟期 Bulking~ Mature	成熟~收获期 Mature~ Harvest	
一期 Phase one	17.500	17.200	18.700	19.200	24.800	26.200	30.700	9.210
二期 Phase two	18.000	18.900	19.100	22.200	27.600	28.000	29.800	16.140
三期 Phase three	19.200	21.500	24.500	27.500	28.900	28.200	24.700	10.840
与产量相关系数 Correlation coefficient with yield	-0.007	0.106	-0.233	0.068	0.421 *	0.613 *	0.157	1.000

表 6 不同播期西瓜各发育期 CO<sub>2</sub> 浓度与产量关系

Table 6 The relationship between CO<sub>2</sub> concentration and yield of watermelon of different sowing dates at different development stages

项目 Item	CO <sub>2</sub> 浓度 CO <sub>2</sub> concentration/%							产量 Yield /kg
	播种~发芽期 Sowing~ Germination	发芽~幼叶期 Germination~ Young leaves	幼叶~抽蔓期 Young leaves~ Vines	抽蔓~坐果期 Vines~ Fruiting	坐果~膨大期 Fruiting~ Bulking	膨大~成熟期 Bulking~ Mature	成熟~收获期 Mature~ Harvest	
一期 Phase one	0.519	0.521	0.578	0.515	0.581	0.447	0.395	9.210
二期 Phase two	0.517	0.604	0.500	0.517	0.614	0.396	0.390	16.140
三期 Phase three	0.500	0.507	0.596	0.605	0.521	0.395	0.462	10.840
与产量相关系数 Correlation coefficient with yield	0.199	0.936 **	-0.919 **	-0.274	0.609 *	-0.670 *	-0.351	1.000

最高气温介于 32.0~49.0℃ 之间,相对湿度介于 56%~75%之间,除 6 月下旬有 3 日相对湿度超过 70%外,其余时间均小于 70%。8 月份的气象条件有利于红蜘蛛发生发展。从相应时段室外气象要素来看,平均气温介于 15.0~21.1℃ 之间,最高气温介于 20.0~29.7℃ 之间,相对湿度介于 24%~49%之间。由发生发展的气象条件分析得出,室内平均气温 20.0~30.0℃、相对湿度 60%~70%、日最高气温 ≤50.0℃ 是红蜘蛛发育和繁殖的适宜温湿度范围,此气象条件从 5 月份即达到,5—9 月份西瓜生长过程中均有发生红蜘蛛虫害的可能。相对应室外平均气温 15.0~21.0℃、相对湿度 20%~50%、日最高气温 ≤30.0℃ 时可预测西瓜红蜘蛛发生。

**3.3.2 西瓜白粉病发生的气象指标** 西瓜白粉病又称白毛博、粉霉博,其发病条件一般是湿度大、温度高、不通风,植株过密、通风不好、过量施用氮肥、植株长势差均易发病<sup>[14-16]</sup>。西瓜白粉病常在 5—6 月大量发生,一般遇到连续阴雨天气,光照不足和湿度过大有利于病菌传播,因此发病较重。据观测,西瓜白粉病发生时段出现在 5 月中下旬,从该阶段气象条件(图 3)来看,其平均气温介于 16.4~30.6℃ 之间,除 5 月 31 日平均气温超过 30℃ 外,其余时间均低于 26.0℃;日最高气温介于 27.2~59.4℃ 之间,相对湿度介于 45%~68%之间。由发生发展的气象条件分析得出,平均气温 16.0~26.0℃、

相对湿度 45%~70%、最高气温 ≤60℃ 是白粉病发病的适宜温湿度范围,此气象条件从 5 月份即达到,5—9 月份西瓜生长过程中均有发生白粉病的可能,且湿度在 80%以上时,病害会迅速蔓延。从相应时段室外气象要素来看,其平均气温介于 6.5~17.5℃ 之间,日最高气温介于 13.4~26.8℃ 之间,相对湿度介于 17%~71%之间;平均气温除个别日数外,其余日数均高于 10℃,相对湿度除个别日数外均高于 20%。由此可知,相对应室外平均气温 10.0~18.0℃、相对湿度 20%~50%、最高气温 ≤27.0℃ 时可预测西瓜白粉病的发生。

### 3.4 温室西瓜生育期适宜气象服务指标

2022 年西瓜分期试验于 6 月 7 日开始,10~31 d 为一个播期,3 个播期生育期天数基本相近,为 79~82 d;第一期西瓜平均单果质量及产量均大于其他两期,由此可得出西瓜的最适播种期为第一期,即 6 月 7 日开始播种,热量条件较好;其他两期播种西瓜能完成全部发育期并形成产量,故次佳播种期为第二期;第三期热量条件较差,西瓜产量较低。

2023 年西瓜分期试验于 3 月 15 日开始,每 30 d 为一个播期,第一、三期的播种~成熟期生育期天数相同(128 d),第二期为 135 d,较其余两期偏长 7 d;前两期播种~幼叶期的日最低气温低于 10℃,对西瓜的生长发育有一定影响;根据产量因素测定结果(表 1),第二期西瓜的平均周长、平均直径、平均

表 7 不同播期西瓜各发育期 ≥10℃ 积温与产量关系  
Table 7 The relationship between ≥10℃ accumulated temperature and yield of watermelon of different sowing dates at different development stages

项目 Item	≥10℃ 积温 ≥10℃ accumulated temperature/(℃·d)							产量 Yield /kg
	播种~发芽期 Sowing~ Germination	发芽~幼叶期 Germination~ Young leaves	幼叶~抽蔓期 Young leaves ~ Vines	抽蔓~坐果期 Vines~ Fruiting	坐果~膨大期 Fruiting~ Bulking	膨大~成熟期 Bulking~ Mature	成熟~收获期 Mature~ Harvest	
一期 Phase one	257.800	401.800	327.600	367.900	724.800	735.500	391.500	9.210
二期 Phase two	284.300	264.500	243.600	364.700	611.900	1056.100	405.500	16.140
三期 Phase three	168.200	178.100	347.600	248.200	287.600	1190.600	730.400	10.840
与产量相关系数 Correlation coefficient with yield	0.494*	-0.350	-0.917**	0.270	0.045	0.443*	-0.257	1.000

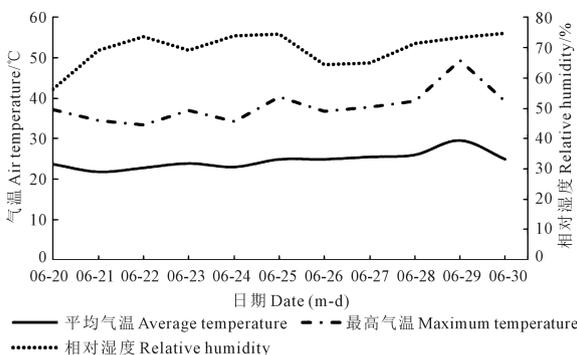


图 1 6 月下旬室内相关气象要素  
Fig.1 Indoor meteorological elements in late June

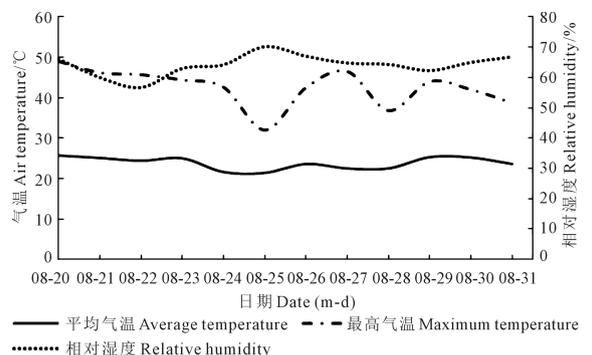


图 2 8 月下旬室内相关气象要素  
Fig.2 Indoor meteorological elements in late August

单果质量和产量均高于其他两期,且第三期高于第一期,即第二期>第三期>第一期,由此可知西瓜的最适播种期为第二期,即 4 月 15 日开始播种,热量条件较好;其余两期播种的西瓜均能完成全部发育期并形成产量,次佳适播期为第三期。

西瓜两年分期播种试验均能获得产量,综上得出各生育期适宜气象指标值如表 8 所示。

### 3 结 论

1)通过西瓜分期播种试验可知,2022 年播种~成熟期生育期平均日数为 80 d,3 个播期西瓜生长期天数基本一致;2023 年播种~成熟期的平均日数

表现为第一、三期相同(128 d),第二期稍长(135 d),较其他两期增加 7 d。

2)2022 年第一期西瓜的平均单果质量及产量均高于其他两期,故西瓜的最适播种期为第一期,即 6 月 7 日开始播种;2023 年第二期西瓜的平均周长、平均直径、平均单果质量及产量均高于其他两期,故西瓜的最适播种期为第二期,即 4 月 15 日开始播种。

3)由病虫害发生发展的气象条件分析可知,室内平均气温 20.0~30.0℃、相对湿度 60%~70%、最高气温≤50.0℃是红蜘蛛发育和繁殖的适宜温湿范围;平均气温 16.0~26.0℃、相对湿度 45%~70%、

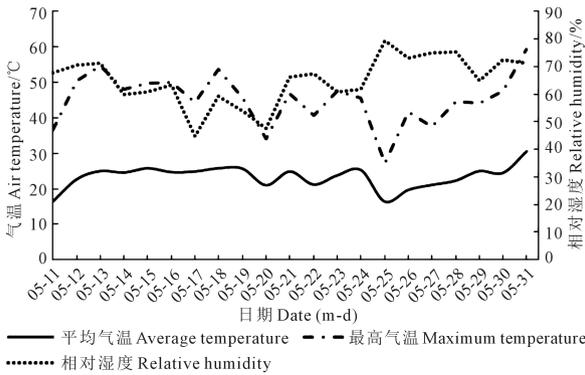


图 3 5 月中下旬室内相关气象要素

Fig.3 Indoor meteorological elements in mid to late May

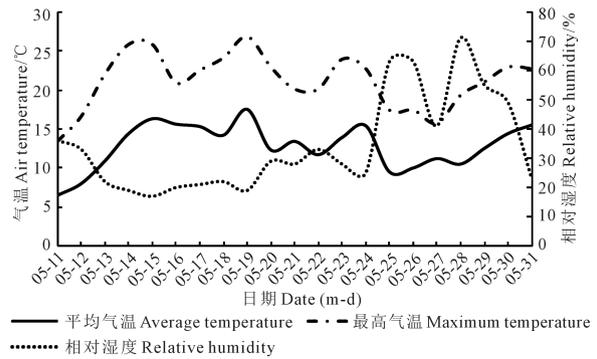


图 4 5 月中下旬室外相关气象要素

Fig.4 Outdoor meteorological elements in mid to late May

表 8 设施西瓜各发育期气象要素适宜指标值

Table 8 Suitable meteorological element index values for different development stages of facility watermelon

发育期 Development stage	平均气温 Average temperature/℃	最高气温 Maximum temperature/℃	最低气温 Minimum temperature/℃	相对湿度 Relative humidity/%	0 cm 地温 0 cm ground temperature/℃	10 cm 地温 10 cm ground temperature/℃
播种~发芽期 Sowing~Germination	16.0~26.0	43.0~46.0	6.0~14.0	50~80	17.0~30.0	16.0~27.0
发芽~幼苗期 Germination~Seedlings	18.0~27.0	42.0~46.0	7.0~17.0	50~80	17.0~32.0	15.0~28.0
幼苗~抽蔓期 Seedlings~Vines	20.0~25.0	44.0~47.0	10.0~16.0	50~80	18.0~28.0	17.0~26.0
抽蔓~结果期 Vines~Fruiting	23.0~25.0	39.0~46.0	10.0~15.0	50~70	24.0~29.0	21.0~27.0
结果~收获期 Fruiting~Harvest	20.0~25.0	41.0~46.0	11.0~16.0	40~70	24.0~31.0	22.0~27.0
发育期 Development stage	20 cm 地温 20 cm ground temperature/℃	40 cm 地温 40 cm ground temperature/℃	≥10℃ 积温 ≥10℃ accumulated temperature / (℃·d)	CO <sub>2</sub> 平均浓度 CO <sub>2</sub> average concentration/%	CO <sub>2</sub> 最大浓度 CO <sub>2</sub> maximum concentration/%	CO <sub>2</sub> 最小浓度 CO <sub>2</sub> minimum concentration/%
播种~发芽期 Sowing~Germination	15.0~25.0	13.0~23.0	160.0~290.0	0.050~0.057	0.054~0.087	0.032~0.047
发芽~幼苗期 Germination~Seedlings	15.0~27.0	15.0~26.0	170.0~440.0	0.045~0.061	0.055~0.073	0.031~0.043
幼苗~抽蔓期 Seedlings~Vines	17.0~25.0	16.0~25.0	240.0~360.0	0.039~0.060	0.047~0.072	0.031~0.043
抽蔓~结果期 Vines~Fruiting	20.0~26.0	18.0~25.0	730.0~1000.0	0.049~0.061	0.057~0.072	0.031~0.043
结果~收获期 Fruiting~Harvest	22.0~26.0	21.0~25.0	240.0~730.0	0.039~0.065	0.058~0.097	0.028~0.032

最高气温 $\leq 60^{\circ}\text{C}$ 是白粉病发病的适宜温湿度范围,5—9月西瓜生长过程中均有可能发生红蜘蛛和白粉病的危害。

4)根据2022年和2023年各3期分期播种试验观测的发育期和气象要素统计分析,得出了温室西瓜生育的气温、相对湿度、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温及 $\text{CO}_2$ 浓度等气象服务指标,可为完善柴达木盆地的设施作物生育期气象服务指标体系提供技术参考。

## 4 讨论

本研究形成的气象服务指标体系,是在常规玻璃温室2a试验数据分析的基础上得出,常规玻璃温室较塑料大棚温室的保温效果好,基本能代表农业区大部分农户建造温室的保温效果,结果可为后期开展设施作物气象服务项目和制作专项气象服务方案奠定基础,同时为涉农部门进行设施作物培育、病虫害防治及气象灾害预防等方面提供参考依据。由于温室气象服务指标能够代表大部分农户建造的温室环境气象条件,依据该气象服务指标体系开展设施农业气象服务,具有较强的针对性和较高的实用性。

分析病虫害发生发展及解除的气象服务指标时,由于2a试验周期内发生的病虫害次数、强度等资料较少,在后期的气象服务中需要逐步完善和开展深入的试验研究。

### 参考文献:

- [1] 张彦良. 西红柿温棚栽培高产技术[J]. 北京农业, 2015, (34): 37-38.  
ZHANG Y L. High-yield technology of greenhouse cultivation of tomatoes[J]. Beijing Agriculture, 2015, (34): 37-38.
- [2] 李晶, 吕巡均. 贺兰县番茄温棚的气象效应研究[J]. 乡村科技, 2018, (15): 74-75, 77.  
LI J, LV X J. Research on meteorological effects of tomato greenhouses in Helan County[J]. Rural Science and Technology, 2018, (15): 74-75, 77.
- [3] 余成丽. 浅析高山反季节蔬菜产业发展现状及对策[J]. 农业开发与装备, 2022, (9): 85-87.  
SHE C L. Analysis of the development status and countermeasures of high mountain off-season vegetable industry[J]. Agricultural Development and Equipments, 2022, (9): 85-87.
- [4] 任如冰, 陈小文, 魏平, 等. 西瓜高产管理技术[J]. 现代农村科技, 2021, (9): 26-27.  
REN R B, CHEN X W, WEI P, et al. High-yield management technology of watermelon [J]. Modern Rural Technology, 2021, (9): 26-27.
- [5] 王凌. 反季节无公害蔬菜栽培技术推广的思考[J]. 农家参谋, 2020, (23): 40.  
WANG L. Thoughts on the promotion of off-season pollution-free vegetable cultivation technology [J]. Adviser of Peasant Families, 2020, (23): 40.
- [6] 杨再强, 朱节中. 设施番茄复合气象灾害致灾机理及环境调控[M]. 北京: 气象出版社, 2021.  
YANG Z Q, ZHU J Z. Mechanism of meteorological disasters caused by facility tomatoes and environmental regulation[M]. Beijing: China Meteorological, 2021.
- [7] 张建华. 大棚西瓜绿色高产栽培技术[J]. 河南农业, 2023, (25): 22.  
ZHANG J H. Green and high-yield cultivation technology of greenhouse watermelon[J]. Agriculture of Henan, 2023, (25): 22.
- [8] 袁雯琪. 早春大棚西瓜种植技术及病虫害防治研究[J]. 种子科技, 2024, 42(13): 110-112.  
YUAN W Q. Research on watermelon planting technology and pest and disease control in early spring greenhouse[J]. Seed Science & Technology, 2024, 42(13): 110-112.
- [9] 赵隆香, 祁如英, 王文清. 西宁市区番茄温棚的气象效应研究[J]. 安徽农业科学, 2013, (21): 9038-9041.  
ZHAO L X, QI R Y, WANG W Q. Research on the meteorological effect of tomato greenhouses in Xining Urban[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2013, (21): 9038-9041.
- [10] 李静, 郭振升, 刘艳侠, 等. 不同喷雾助剂对西瓜红蜘蛛防治农药减量增效的作用[J]. 陕西农业科学, 2020, 66(10): 46-48.  
LI J, GUO Z S, LIU Y X, et al. The effect of different spray adjuvants on reducing pesticide dosage and increasing efficiency in the control of red spider mites on watermelon[J]. Shaanxi Journal of Agricultural Sciences, 2020, 66(10): 46-48.
- [11] 李传增. 试论西瓜种植中病虫害防治技术[J]. 新农业, 2021, (7): 41.  
LI C Z. Discussion on the prevention and control technology of diseases and pests in watermelon cultivation[J]. Modern Agriculture, 2021, (7): 41.
- [12] 亓瑞彤, 李秀伟, 简真, 等. 泗水西瓜绿色高效栽培及病虫害防治技术[J]. 农业知识, 2024, (7): 60-62.  
QI R T, LI X W, JIAN Z, et al. Green and efficient cultivation of watermelon in Sishui and pest and disease control technology[J]. Agricultural Knowledge, 2024, (7): 60-62.
- [13] 符楠. 大棚西瓜主要病虫害防治技术[J]. 农民致富之友, 2015, (1): 48-48.  
FU N. Main pest and disease control techniques for greenhouse watermelon[J]. Friends of Farmers Getting Rich, 2015, (1): 48-48.
- [14] 朱阿秀, 胡婕, 檀时山, 等. 江苏地区设施西瓜白粉病发生规律及综合防控技术[J]. 上海蔬菜, 2022, (5): 61-64.  
ZHU A X, HU J, TAN S S, et al. The occurrence pattern and comprehensive prevention and control technology of powdery mildew in facility watermelons in Jiangsu Region[J]. Shanghai Vegetables, 2022, (5): 61-64.
- [15] 张浩, 梁文志. 西瓜种植中主要病害及防治措施[J]. 种子科技, 2020, 38(17): 85-86.  
ZHANG H, LIANG W Z. Main diseases and prevention measures in watermelon cultivation [J]. Seed Science & Technology, 2020, 38(17): 85-86.
- [16] 王锋. 大棚西瓜主要病虫害防治技术[J]. 农民致富之友, 2017, (7): 48.  
WANG F. Main pest and disease control techniques for greenhouse watermelons[J]. Friends of Farmers Getting Rich, 2017, (7): 48.