

气象条件对昌乐暖棚西瓜产量的影响研究

邵光灿¹, 赵 华², 马英洁¹, 王成玉¹, 王晓立², 袁 静², 吴冠楠¹, 申雨欣¹

¹昌乐县气象局, 山东 潍坊

²潍坊市气象局, 山东 潍坊

收稿日期: 2025年3月1日; 录用日期: 2025年4月1日; 发布日期: 2025年4月7日

摘 要

本研究针对昌乐县气象局开展的12期暖棚西瓜观测试验数据, 运用相关性分析方法, 剖析了产量与各发育期气象要素的关联程度, 填补了昌乐暖棚西瓜产量与气象条件关系领域的研究空白。结果显示, 气温对昌乐暖棚西瓜产量的影响最为显著, 其中成熟期的平均气温在各发育期气象要素与产量的关联度中表现最为紧密。研究确定了利于昌乐暖棚西瓜生长和产量提升的各发育期气温适宜指标, 分别为: 缓苗期19℃~20℃、伸蔓期与花期20℃~24℃、坐瓜期24℃~27℃、膨瓜期25℃~28℃、成熟期28℃~30℃。同时, 明确了各发育期10 cm地温、日照时数、空气相对湿度等适宜指标, 并归纳总结出气象要素调控技术。

关键词

暖棚西瓜产量, 气象要素, 发育期, 调控技术

Impact of Meteorological Conditions on Watermelon Yield in Solar Greenhouses in Changle

Guangcan Shao¹, Hua Zhao², Yingjie Ma¹, Chengyu Wang¹, Xiaoli Wang², Jing Yuan², Guannan Wu¹, Yuxin Shen¹

¹Changle County Meteorological Bureau, Weifang Shandong

²Weifang Meteorological Bureau, Weifang Shandong

Received: Mar. 1st, 2025; accepted: Apr. 1st, 2025; published: Apr. 7th, 2025

Abstract

Based on the 12-term observation data of solar greenhouse watermelon experiments conducted by the Changle County Meteorological Bureau, this study employed correlation analysis methods to

文章引用: 邵光灿, 赵华, 马英洁, 王成玉, 王晓立, 袁静, 吴冠楠, 申雨欣. 气象条件对昌乐暖棚西瓜产量的影响研究[J]. 农业科学, 2025, 15(4): 325-332. DOI: 10.12677/hjas.2025.154039

explore the relationship between yield and meteorological factors at various growth stages. It fills the research gap in the field of the relationship between the yield of warm greenhouse watermelons in Changle and meteorological conditions. The results indicated that temperature had the most significant impact on the yield of solar greenhouse watermelons in Changle County, with the average temperature during the maturation stage showing the closest correlation among all growth stage meteorological factors and yield. The study determined the suitable temperature indicators for each growth stage that are conducive to the growth and yield increase of solar greenhouse watermelons in Changle County, which are: 19°C~20°C during the seedling recovery stage, 20°C~24°C during the vine extension and flowering stages, 24°C~27°C during the fruit setting stage, 25°C~28°C during the fruit expansion stage, and 28°C~30°C during the maturation stage. Additionally, the study identified suitable indicators for 10 cm soil temperature, sunshine duration, and air relative humidity at each growth stage, and summarized the meteorological factor regulation techniques to enhance yield.

Keywords

Watermelon Yield in Solar Greenhouses, Meteorological Factors, Growth Stages, Regulation Techniques

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

昌乐西瓜是中国山东省潍坊市昌乐县的特色产业，以皮薄瓤脆、汁多味甜而闻名，素有“天上甘露美，昌乐西瓜甜”的美誉。昌乐西瓜的种植历史可追溯至明清时期，距今已有 300 余年。西瓜生长发育喜高温、干燥、强光照的环境[1]。昌乐县地处暖温带季风气候区，四季分明、光照充足、昼夜温差大，利于西瓜糖分积累。昌乐西瓜种植面积常年稳定在 16 万亩以上，年产量逾 60 万吨，形成了集育苗、种植、销售、深加工于一体的产业链，并打造了“火山农八鲜”等知名品牌。昌乐县被誉为“中国西瓜之乡”，2023 年，“昌乐西瓜”以 47.85 亿元的品牌价值连续十四年位居全国西瓜第一品牌。

为了提高西瓜产量，近年来国内不乏针对气象要素对西瓜生长的分析研究，以及着重于反季节栽培研究，目前还没有提高昌乐地区暖棚西瓜产量的相关研究。邱建伟等研究分析了二茬西瓜栽培可以大幅度提高单位产量。头茬瓜采收前特别要注意防治病虫害的发生，等到头茬瓜采收后当天立即施肥灌水；选择品种时要注意选择高温下结果率高、抗病力强、产量高的品种，如花仙子、斯维特等；吴容美等研究发现西瓜在五一前后即可收获上市。从头茬瓜采收至秋茬蔬菜定植，还有近两个月的时间，空棚期较长。为了增加收益留取二茬瓜，但在留二茬瓜时存在问题，如留瓜随意性太强致西瓜生长不齐、西瓜蔓上叶片老化严重、病害多发等，很难实现二茬瓜的高产。李海凤等研究发现，通过对三层膜覆盖大拱棚和四层膜覆盖大拱棚内小气候、产量的对比分析，得出四层膜覆盖大拱棚比三层膜覆盖大拱棚内日平均气温高 3°C~5°C，提前 8~10 d 上市、糖度高 1% 的结论。从产量和品质分析，四层膜覆盖大拱棚比三层膜覆盖大拱棚具有明显的优势。岳顺玲等研究发现从西瓜品种选择、肥水管理、病害防治等方面进行研究。任自力等对大棚西瓜需水强度与环境因子的关系进行了研究。

在暖棚西瓜种植过程中，如果气象条件不适宜，极易引起落花落果，严重影响产量和栽培效益[2]，因此，科学调控棚内气象要素，提高暖棚西瓜的适应能力，可以减少生长环境变化对西瓜产量的不良影响。研究气象条件对昌乐暖棚西瓜产量的影响尤为重要，分析不同发育期的平均气温、平均最高气温、平均最低气温、相对湿度、地温(10 cm)、日照时数等气象要素与产量的关系，筛选出影响西瓜产量的主

要气象要素，为提高昌乐县暖棚西瓜产量采取的生产管理措施提供科学依据。

2. 研究的材料与方法

2.1. 研究材料

昌乐县气象局从 2019 年开始，连续 6 年在昌乐县五图街道庵上湖村开展暖棚西瓜观测与创新种植试验，研究不同气候条件下提高西瓜品质和多季循环种植的棚内气象调控技术和生产管理措施，重点解决设施西瓜种植模式单一、气候资源利用不充分、棚内小气候调控技术不成熟等问题。在棚内安装一套设施农业小气候站，期间自动连续观测棚内气温、相对湿度、地温等气象要素。研究人员对西瓜生长量、产量、糖度等进行详细记录。

2.2. 研究方法

梳理观测数据，采用 Excel 和 SPSS 软件进行灰色关联度分析及图表制作。

3. 研究分析

3.1. 暖棚西瓜产量与气象要素关联度分析

3.1.1. 数据来源

昌乐县气象局开展的 12 期西瓜观测试验中，选取相关的棚内平均气温、平均最高气温、平均最低气温、相对湿度、地温(10 cm)、日照时数等气象要素，余优森研究提出气温和日照影响西瓜的产量；顾建中研究得出西瓜产量高低主要取决于降水量和日照时数的多寡。因此，日照时数也是影响产量的重要气象要素，本文还需要研究分析日照时数与暖棚西瓜产量的关联度，日照时数采用昌乐基本国家气象站的日照观测数据代替，昌乐基本国家气象站与目标大棚的直线距离 11 km，符合中国地面气象观测站的站网间距标准且地形相似。

3.1.2. 数据统计

Table 1. Watermelon yield per mu and meteorological elements situation
表 1. 西瓜亩产量与气象要素情况

序列期数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A ₀	3277	3488	3500	3425	3281	3463	2973	4150	4072	3042	2422	4096
A ₁	11.8	16.1	16.0	16.3	17.9	19.2	20.2	19.0	26.2	30.6	18.1	19.1
A ₂	15.9	16.9	18.1	18.1	17.2	18.8	21.1	21.8	24.9	30.2	16.2	20.7
A ₃	17.5	18.9	18.1	18.8	19.5	18.7	24.7	22.5	23.9	25.3	17.3	20.0
A ₄	18.8	17.4	18.1	21.2	20.7	19.6	25.6	26.0	26.9	27.3	16.8	24.5
A ₅	19.7	20.8	20.9	21.4	21.2	18.5	26.5	27.7	27.1	25.3	18.8	25.0
A ₆	21.8	22.7	22.2	22.3	22.4	21.7	26.5	26.2	30.1	20.5	17.7	28.4
A ₇	12.5	16.8	16.8	17.2	18.7	34.4	29.1	28.2	38.1	42.9	28.8	31.7
A ₈	16.6	17.7	18.9	18.9	24.8	35.6	33.8	34.2	36.2	40.6	25.8	31.3
.....
A ₃₆	11	10	10	9	10	7	5	5	8	7	7	8

统计整理 12 期西瓜观测试验的气象要素观测数据以及西瓜产量记录信息。根据昌乐暖棚西瓜生长特点, 按照缓苗期、伸蔓期、花期、坐瓜期、膨瓜期、成熟期等 6 个发育期, 选取相应的平均气温、平均最高气温、平均最低气温、相对湿度、地温(10 cm)、日照时数等气象要素数据, 共计 36 个气象因子与西瓜产量进行关联度分析。将西瓜亩产(kg/亩)作为参考序列 A_0 , 6 个发育期相应的平均气温($^{\circ}\text{C}$)、平均最高气温($^{\circ}\text{C}$)、平均最低气温($^{\circ}\text{C}$)、相对湿度(%)、地温(10 cm) ($^{\circ}\text{C}$)、日照时数(h)作为比较序列 $A_i (i=1,2,3,\cdots,36)$, 其中 A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_3 、 A_4 、 A_5 、 \cdots 、 A_{36} 分别表示各发育期对应的平均气温、平均最高气温、平均最低气温、相对湿度、地温(10 cm)、日照时数(h)。相关数据见表 1。

3.1.3. 初值化处理数据

将统计整理的表 1 原始数据进行无量纲化处理, 即采用均值化法处理后得到的数据列为标准化序列值。标准化处理值见表 2。

Table 2. Standardized processing of watermelon yield per mu and meteorological elements
表 2. 西瓜亩产量与气象要素标准化处理情况

序列期数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A_0	0.9547	1.0162	1.0197	0.9978	0.9559	1.0089	0.8662	1.2091	1.1863	0.8863	0.7056	1.1933
A_1	0.6139	0.8386	0.8321	0.8498	0.9334	0.9993	1.0520	0.9899	1.3620	1.5932	0.9420	0.9939
A_2	0.7948	0.8445	0.9043	0.9045	0.8616	0.9386	1.0565	1.0922	1.2446	1.5102	0.8112	1.0371
A_3	0.8551	0.9231	0.8854	0.9196	0.9519	0.9161	1.2104	1.1005	1.1697	1.2400	0.8480	0.9801
A_4	0.8569	0.7931	0.8263	0.9676	0.9441	0.8961	1.1702	1.1850	1.2285	1.2461	0.7683	1.1178
A_5	0.8657	0.9140	0.9208	0.9428	0.9307	0.8116	1.1644	1.2170	1.1940	1.1130	0.8260	1.1000
A_6	0.9262	0.9631	0.9445	0.9485	0.9526	0.9219	1.1232	1.1144	1.2763	0.8721	0.7507	1.2065
A_7	0.4759	0.6400	0.6376	0.6555	0.7134	1.3103	1.1091	1.0748	1.4480	1.6332	1.0942	1.2080
A_8	0.5965	0.6356	0.6775	0.6773	0.8898	1.2762	1.2121	1.2274	1.2987	1.4587	0.9274	1.1228
.....
A_{36}	1.3741	1.2223	1.2885	1.1123	1.2576	0.8724	0.5779	0.6060	0.9850	0.8366	0.8402	1.0273

3.1.4. 绝对差值处理

将表 2 数据进行绝对差值计算, 即求参考序列 A_0 与比较序列 A_i 的绝对差值。绝对差值结果 ΔA_i 见表 3。

Table 3. Absolute values of reference series and comparison series
表 3. 参考数列与比较序列的绝对值

序列期数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A_1	0.3408	0.1776	0.1876	0.1481	0.0225	0.0096	0.1858	0.2192	0.1756	0.7069	0.2364	0.1994
A_2	0.1599	0.1717	0.1153	0.0934	0.0943	0.0703	0.1903	0.1168	0.0582	0.6239	0.1055	0.1562
A_3	0.0996	0.0931	0.1343	0.0782	0.0039	0.0928	0.3442	0.1086	0.0166	0.3537	0.1424	0.2132
A_4	0.0978	0.2231	0.1934	0.0302	0.0118	0.1128	0.3041	0.0240	0.0421	0.3598	0.0627	0.0755
A_5	0.0890	0.1022	0.0989	0.0550	0.0252	0.1973	0.2983	0.0079	0.0077	0.2268	0.1204	0.0933
A_6	0.0286	0.0531	0.0751	0.0493	0.0033	0.0870	0.2571	0.0947	0.0900	0.0141	0.0450	0.0132
A_7	0.4788	0.3762	0.3821	0.3423	0.2425	0.3014	0.2429	0.1342	0.2616	0.7469	0.3886	0.0147

续表

A ₈	0.3582	0.3806	0.3422	0.3205	0.0661	0.2673	0.3459	0.0183	0.1123	0.5725	0.2218	0.0705
A ₉	0.3219	0.3357	0.3695	0.0548	0.1495	0.2031	0.4160	0.0118	0.0381	0.3249	0.1705	0.3219
A ₁₀	0.3558	0.2848	0.1755	0.0620	0.1050	0.0538	0.3117	0.0133	0.0117	0.3702	0.1174	0.3558
A ₁₁	0.0986	0.0656	0.0592	0.0427	0.0022	0.0533	0.2843	0.0155	0.1296	0.1879	0.1479	0.0986
A ₁₂	0.0007	0.0439	0.0524	0.0409	0.0185	0.0061	0.1711	0.1926	0.0249	0.1055	0.1337	0.0007
.....
A ₃₆	0.4194	0.2061	0.2688	0.1144	0.3017	0.1365	0.2883	0.6031	0.2014	0.0496	0.1345	0.1660

3.1.5. 产量与各发育期气象要素的关联系数

根据灰色关联度分析的方法，采用下列计算公式，利用表 3 数据，计算出暖棚西瓜产量与各发育期气象要素的关联系数。

$$\omega_i = (\Delta \min + \rho \Delta \max) / (\Delta A_i + \rho \Delta \max)$$

上述公式中Δmin 表示所有比较序列中绝对差值中的最小值，Δmax 表示所有比较序列中绝对差值中的最大值，ρ 表示分辨率，取值 0.5。由表 3 绝对差值中可知，最小值Δmin 为 0.0007，最大值Δmax 为 0.7469。将相关数据代入上述公式，求得各发育期气象要素的关联系数。

3.1.6. 计算产量与各发育期气象要素的关联度

Table 4. Correlation degree between watermelon yield per mu and meteorological elements
表 4. 西瓜亩产量与气象要素的关联度

气象要素	关联度	排序	气象要素	关联度	排序
A ₁	0.6753	30	A ₁₉	0.7378	15
A ₂	0.7295	19	A ₂₀	0.7042	24
A ₃	0.7572	13	A ₂₁	0.7313	17
A ₄	0.7787	8	A ₂₂	0.7137	23
A ₅	0.7964	6	A ₂₃	0.7795	7
A ₆	0.8633	1	A ₂₄	0.7648	12
A ₇	0.5700	36	A ₂₅	0.6469	33
A ₈	0.6347	35	A ₂₆	0.7033	25
A ₉	0.6771	29	A ₂₇	0.7209	21
A ₁₀	0.7353	16	A ₂₈	0.7716	11
A ₁₁	0.8037	4	A ₂₉	0.7751	10
A ₁₂	0.8559	2	A ₃₀	0.8118	3
A ₁₃	0.7222	20	A ₃₁	0.6675	31
A ₁₄	0.7313	17	A ₃₂	0.7777	9
A ₁₅	0.6831	27	A ₃₃	0.6650	32
A ₁₆	0.7144	22	A ₃₄	0.6858	26
A ₁₇	0.7538	14	A ₃₅	0.6828	28
A ₁₈	0.8019	5	A ₃₆	0.6391	34

采用下列计算公式求取关联度：

$$\theta_i = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \omega_i$$

将各发育期气象要素的关联系数代入上述公式，求出各发育期气象要素与暖棚西瓜产量的关联度。计算结果见表 4。

按照灰色关联度分析的相关原则，关联度越大的发育期气象要素与参考数列西瓜产量的关系越密切，关联度越小的发育期气象要素与参考数列西瓜产量的关系越疏远。因此，由表 4 关联度排序上可以看出，气温对昌乐地区暖棚西瓜产量的影响最大，与各发育期气象要素之间的关联度中，成熟期平均气温、平均最高气温、平均 10 cm 地温占据前三位，对西瓜产量的影响较大。

4. 气象要素调控对西瓜生长的影响

4.1. 气温

气温对暖棚西瓜的产量有重要影响。暖棚作为一种人工调控环境的手段，其核心目标之一就是通过调节气温，为西瓜创造适宜的生长条件。分析观测资料，根据图 1 可以看出第 8 期、第 9 期、第 12 期的产量最高。

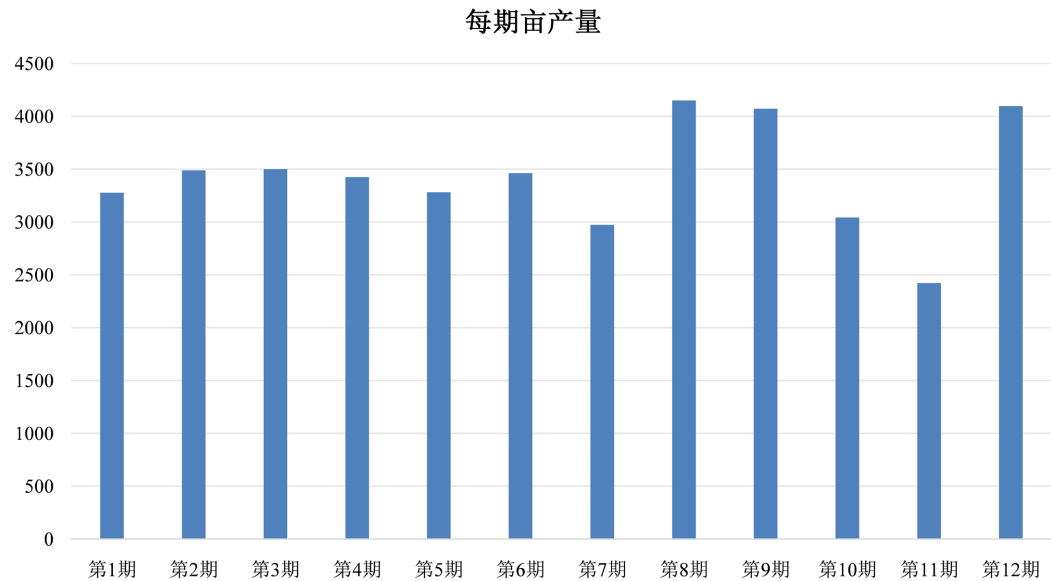


Figure 1. Yield per mu in each period
图 1. 每期的亩产量

由此可以获得昌乐地区暖棚西瓜各发育期适宜生长的平均气温指标分别为：缓苗期指标为 19℃~20℃，伸蔓期与花期指标为 20℃~24℃，坐瓜期指标为 24℃~27℃，膨瓜期指标为 25℃~28℃，成熟期指标为 28℃~30℃。西瓜极不耐寒，气温在 0℃~5℃时植株受冻，10℃时停止生长[3]。当气温较低时，增强西瓜耐低温能力，采用三膜(大棚膜、小棚膜、地膜)覆盖升温[4]，还可用热风炉、电暖气、燃烧植物油等方式。温度过高时，适时打开顶窗、侧窗通风降温，结合遮阳网遮挡强光，减少棚内热量积聚。

4.2. 相对湿度

棚内相对湿度对西瓜的生长具有直接影响，合理调控相对湿度是温室管理的关键环节。昌乐地区暖

棚西瓜各发育期适宜生长的平均相对湿度指标分别为:缓苗期指标为50%~71%,伸蔓期指标为45%~51%,花期指标为50%~58%,坐瓜期指标为40%~50%,膨瓜期指标为53%~60%,成熟期指标为50%~62%。棚内过高的空气相对湿度对西瓜的生长造成不利影响[5],易引起果实的掉落,可打开通风口通风换气,降低棚内空气湿度,还可采用膜下滴灌或渗灌,减少水分蒸发,还可在棚内放置生石灰等吸湿材料。相对湿度过低时,可在地面适当洒水,但注意控制洒水量,避免湿度过高引发病害。

4.3. 10 cm 地温

适宜的地温利于西瓜根系发育,能够增强养分、水分吸收,为植株提供充足营养。同时,对茎叶生长速度、花芽分化和果实发育有重要影响,地温不适则会导致果实发育不良。西瓜在伸蔓期和开花授粉期,尤其要注意提高地温[6]。昌乐地区暖棚西瓜各发育期适宜生长的平均10 cm地温指标分别为:缓苗期指标为22℃~27℃,伸蔓期指标为23℃~27℃,花期指标为24℃~26℃,坐瓜期指标为26℃~28℃,膨瓜期指标为27℃~28℃,成熟期指标为26℃~29℃。为应对地温过低,可提前铺设电热线、安装水暖管道等设备直接加热土壤,也可覆盖地膜、秸秆、小拱棚等减少热量散失,地膜覆盖地面后,地面吸收的辐射较多地用于土壤增温[7],待外界气温上升至20℃,及时将小拱棚撤除,做好换气处理,增加光照面积[8]。

4.4. 日照时数

昌乐地区暖棚西瓜各发育期适宜生长的平均日照时数指标分别为:缓苗期指标为8~11 h,伸蔓期指标为7~8 h,花期指标为6~8 h,坐瓜期指标为10~11 h,膨瓜期指标为8 h,成熟期指标为6~8 h。充足的阳光照射是西瓜成长发育的核心要素,对西瓜的生长和光合作用起到了重要作用。适宜的光照时间可使西瓜正常生长发育,缩短成熟时间。当光照不足时,增设补光灯延长光照时间,提高光照强度;合理密植,采用南北行向种植,减少植株间相互遮阴;通过清洁膜上的灰尘,以及在温室后壁悬挂反光幕增加光照[9]。在光照过强时,使用遮阳网适当遮光,避免高温和强光伤害植株。

5. 结论

本研究以山东省潍坊市昌乐县暖棚西瓜为研究对象,系统分析了平均气温、最高气温、最低气温、相对湿度、10 cm地温及日照时数等关键气象因子对西瓜各发育期生长发育及产量的影响机制。研究发现,气温对昌乐地区暖棚西瓜产量的影响最为显著。同时,并确定了利于西瓜生长、提高产量的各发育期气象要素调控适宜指标:气温方面,缓苗期为19℃~20℃,伸蔓期与花期为20℃~24℃,坐瓜期为24℃~27℃,膨瓜期为25℃~28℃,成熟期为28℃~30℃;相对湿度方面,缓苗期为50%~71%,伸蔓期为45%~51%,花期为50%~58%,坐瓜期为40%~50%,膨瓜期为53%~60%,成熟期为50%~62%;10 cm地温方面,缓苗期为22℃~27℃,伸蔓期为23℃~27℃,花期为24℃~26℃,坐瓜期为26℃~28℃,膨瓜期为27℃~28℃,成熟期为26℃~29℃;日照时数方面,缓苗期为8~11 h,伸蔓期为7~8 h,花期为6~8 h,坐瓜期为10~11 h,膨瓜期为8 h,成熟期为6~8 h。

此外,本研究结合当地设施栽培实践提出优化调控策略,利于提升西瓜产量,提高生产效益,为昌乐县暖棚西瓜产业可持续发展提供有力支撑。本研究填补了昌乐暖棚西瓜产量与气象条件关系领域的研究空白,具有重要的理论与实践意义。然而,本研究存在数据样本量较少的局限性。后续需持续开展暖棚西瓜的气象观测与创新种植试验,进一步深入探究暖棚西瓜生产与气象条件之间的内在联系,为科学指导生产管理提供依据,助力种植户实现增收致富。

基金项目

山东省气象局面上项目《鲁中山区冰雹路径研究》,项目编号:2023sdqxm11;潍坊市科技发展计划

(软科学)项目《人工影响天气在生态保护与修复中的作用分析探讨》，项目编号：2022RKX134。

参考文献

- [1] 邵飘红. 西瓜种植的气候条件分析及灾害防御[J]. 农业开发与装备, 2015(6): 107-108.
- [2] 张文冉, 李俊芬, 张秀花. 西瓜落花落果与气象条件的关系[J]. 河南气象, 2004(3): 28-28.
- [3] 马英洁, 张爱玲, 秦涛, 吴冠楠, 于江, 王晓立. 影响昌乐大棚西瓜生长的气象因素分析及对策[J]. 农业开发与装备, 2013(5): 74-75.
- [4] 马素芹. 早春大棚西瓜三膜覆盖嫁接栽培技术[J]. 现代农业科技, 2015(3): 79-79.
- [5] 金海东, 尹明礼. 西瓜种植的气候条件与灾害防范措施[J]. 种子科技, 2019, 37(12): 80-81.
- [6] 邵光灿, 马英洁, 王成玉, 赵华, 吴冠楠, 申雨欣. 设施西瓜雌花催化的气象要素调控研究[J]. 农业科学, 2024, 14(8): 837-847.
- [7] 顾品强. 气候因素对西瓜生长发育及产量构成的影响[J]. 中国农业气象, 1989, 10(1): 22-25.
- [8] 刘影. 淮北地区早春大棚西瓜种植技术要点[J]. 农村科学实验, 2020(2): 73-74.
- [9] 闫庚戌. 日光温室秋冬茬小西瓜高效栽培技术[J]. 农业与技术, 2020, 40(11): 112-113.