

河北唐山大棚葡萄开花坐果期气象要素调控效果分析

杨思慧¹, 王柯涵¹, 袁淑杰¹, 张碧¹, 肖杨²

¹成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都

²唐山市气象局, 河北 唐山

Email: zhangbi@cuit.edu.cn

收稿日期: 2020年11月7日; 录用日期: 2020年11月19日; 发布日期: 2020年11月26日

摘要

本文利用2019年河北唐山大棚葡萄开花坐果期(3月29日至4月30日)共33天曹妃甸唐海镇农研所试验基地气象观测站及小气候站所观测的棚外相对湿度、1.5 m棚内湿度、棚内日照指数、棚外2分钟平均风速的资料, 利用图表相关分析以及相关系数, 分析了当地温室大棚对湿度的调控效果, 并研究了其影响因素。结果表明: 1) 白天大棚平均增湿11%, 夜间平均增湿25.2%, 日均增湿18.1%。每日增湿作用最强的时间多处在0:00~2:00, 最强增湿作用平均为38.6%。每日增湿作用最弱的时间多处在9:00~13:00, 最弱增湿作用平均为-1.3%。大棚对湿度的调控效果在0:00-7:00有较小波动但总体保持稳定, 增湿作用平均保持在21.9%~25.1%。每日的7:00~9:00大棚的增湿作用迅速减弱。9:00~16:00达到最低为一天中最弱的时候, 增湿作用平均保持在5.2%~9.5%, 16:00~19:00增湿作用迅速增强, 19:00后持续减弱。2) 大棚对湿度的调控效果与棚外相对湿度在白天呈中等程度的负相关, 在夜间呈极强负相关; 大棚对湿度的调控效果与棚外2分钟平均风速在白天呈正相关; 在夜间呈弱的正相关; 大棚对湿度的调控效果与棚内日照呈中等程度的正相关。

关键词

河北唐山, 大棚葡萄, 开花坐果期, 气象要素调控效果

Analysis on the Control Effect of Greenhouse Meteorological Factors in the Flowering and Fruiting Period of Greenhouse Grapes in Tangshan, Hebei Province

Sihui Yang¹, Kehan Wang¹, Shujie Yuan¹, Bi Zhang¹, Yang Xiao²

文章引用: 杨思慧, 王柯涵, 袁淑杰, 张碧, 肖杨. 河北唐山大棚葡萄开花坐果期气象要素调控效果分析[J]. 农业科学, 2020, 10(11): 928-939. DOI: 10.12677/hjas.2020.1011142

¹Atmospheric Science College, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan

²Tangshan Meteorological Bureau, Tangshan Hebei

Email: zhangbi@cuit.edu.cn

Received: Nov. 7th, 2020; accepted: Nov. 19th, 2020; published: Nov. 26th, 2020

Abstract

By 2019, Hebei Tangshan greenhouse grape flower fruit data (March 29 solstice to April 30), a total of 33 days Caofeidian Tanghai Town Nongyansuo and microclimate testing ground meteorological observatory station observation of the relative humidity of bird, relative humidity of 1.5 m, relative index of sunlight, bird 2 minutes on average wind speed data, using charts, correlation analysis and related coefficient are used to analyze the local greenhouses humidity control effect, and its influence factors are studied. The results showed that: 1) The average humidity of greenhouses increased by 11% in the daytime, 25.2% at night and 18.1% in the average day. The time with the strongest humidification effect is mostly at 0:00 to 2:00 every day, and the average time with the strongest humidification effect is 38.6%. The time with the weakest humidification effect was from 9:00 to 13:00 every day, and the weakest humidification effect was -1.3%. The humidity control effect of greenhouses fluctuated slightly from 0:00 to 7:00, but remained stable on the whole. The humidification effect was kept at 21.9% - 25.1% on average. Daily 7:00 to 9:00 greenhouses humidification effect rapidly weakened. When it reached the lowest point between 9:00 and 16:00, the humidification effect remained at 5.2% - 9.5% on average. The humidification effect increased rapidly between 16:00 and 19:00, and continued to weaken after 19:00. 2) The humidity control effect of greenhouses has a moderate negative correlation with the relative humidity outside the greenhouses in the daytime and a strong negative correlation at night. The humidity control effect of greenhouses was positively correlated with the 2-minute average wind speed outside greenhouses in the daytime, and there is weak positive correlation at night. The humidity control effect of greenhouses was positively correlated with sunshine in greenhouses to a moderate degree.

Keywords

Hebei Tangshan, Greenhouse Grape, Flowering and Fruiting Period, Meteorological Factors Control Effect

Copyright © 2020 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

众所周知, 葡萄是一种受人们喜欢的水果, 色香味俱佳, 且具有很高的营养价值及保健作用, 在我国有多年的种植经验。葡萄的主要物候期包括树体营养贮存期、休眠期、催芽期、萌芽及新梢初期、开花坐果期、果实膨大及浆果成熟期, 其中开花坐果期易受高温热害、低温冷害等影响, 导致坐果率下降使得葡萄减产。葡萄是世界上种植历史最为悠久的果树之一, 原产于西亚, 种植范围分布于全球各地, 约有 95% 的种植地区分布在北半球。温室大棚对湿度的调控可以使温室大棚内部与外部的气象要素产生差异[1], 通过调控使本不适宜作物生长发育的湿度条件变得适宜, 使作物能够顺利生长与生产。

对于温室大棚对湿度的调控效果的分析,国内外气象工作者已经有大量的分析和研究。有一些学者得出了温室的棚内外温差的值为晴天最大,阴天最小,在变化幅度上气温大于地温,并且温差与大气温度、太阳高度角相关性显著的结果(刘可群等,2008 [2];黎明锋等,2004 [3];胡绵好等,2004 [4])。符国槐等(2011) [5]分析了棚内和棚外的最高、最低温度的联系,构建了温室大棚小气候模型,结果表明,棚内气温与相对湿度呈线性负相关,棚内外气温白天的相关程度小于晚上,阴天晚上棚内外气温的相关程度最强。袁静等(2015) [6]研究了此作物下温室大棚内的小气候变化特征,指出棚内相对湿度最小值与气温最高值出现的时刻相近,棚内相对湿度最大值与气温最低值出现的时刻相近。阴天棚内气温、相对湿度的日较差最小,晴天时最大。孟力力等(2009) [7]通过在塑料大棚不同高度、不同部位建模,较全面地考虑了水分相变、植物潜热、塑料大棚结构等因素对棚内热环境模型的影响。吉中礼等(1997) [8]选取西北农业大学蔬菜试验站温室大棚的气象资料,分析了温室大棚的温度、相对湿度和风速的变化特征,结果表明,上午9时至11时时温室大棚内外温差增大,温差会随棚内高度的升高而增大,棚内相比棚外相对湿度平均高17.8%,温室大棚约需三至四小时自然通风才能使棚内外的温湿度达到相同水平。何南思(2014) [9]研究了具体大棚作物的大棚小气候环境参数设置,以及温室控制系统的控制方法和控制策略,根据质量、能量守恒定理建立了大棚环境的机理模型,实现了对棚内温度、湿度的精确控制。陈丹等(2008) [10]对广西农业职业技术学院现代农业展示园夏季单栋塑料大棚、三连栋塑料大棚、六连栋塑料大棚、大棚附近裸地的气象要素资料进行了分析,结果表明,大棚相对湿度的值的大小与塑料大棚体积为负相关,晴天晚上单栋大棚棚内气温会有逆温现象,棚内平均相对湿度低于棚外,各观测时次棚内增、减湿现象共存,白天以减湿为主,晚上会出现增湿。

研究借鉴其他学者研究成果的基础上,对河北唐山温室大棚湿度调控效果进行了深入的分析研究。

进行温室大棚调控效果分析的目的在于确立温室大棚对棚内湿度的调控作用强弱以及其与棚内外湿度的相关关系,更好地利用温室大棚来调控农作物的生长环境,发挥大棚种植的优势,预测棚内气象条件,为作物带来良好的生长环境。本文主要针对河北唐山大棚葡萄进行温室大棚调控效果分析,其目的和意义在于:

玫瑰香葡萄的开花坐果期易受高温热害、低温冷害等影响,会导致坐果率下降,使得葡萄减产。大棚对湿度的调控效果对于棚内湿度的影响极其重要,可以直接影响棚内作物是否受到气象灾害[11] [12] [13] [14],进行河北唐山大棚葡萄的大棚调控效果分析,可以避免盲目种植,为创造葡萄良好的生长发育气象环境提供依据。

2. 资料来源和方法

2.1. 资料来源

本论文所采用资料均来源于河北省唐山市气象局。主要包括河北唐山地区2019年3月29日至4月30日曹妃甸唐海镇农研所试验基地气象观测站及小气候站所观测的逐小时棚外相对湿度、1.5m棚内湿度、棚内日照指数、棚外2分钟平均风速的资料。

2.2. 研究方法

1) 利用河北唐山地区2019年3月29日至4月30日曹妃甸唐海镇农研所试验基地气象观测站及小气候站所观测的逐小时棚外相对湿度、1.5m棚内湿度的资料,计算出逐小时大棚内外温差、内外湿度差。

2) 利用图表相关分析法分析河北唐山葡萄大棚对湿度的调控效果的总体趋势以及棚外相对湿度、棚外2分钟平均风速、棚内日照指数对其的影响。

3) 利用相关系数法和线性回归对比分析日夜间大棚内外湿度差和棚外相对湿度,白天和夜间大棚内外湿度差随棚外 2 分钟平均风速的变化趋势,棚内有日照的时段逐小时大棚内外湿度差和棚内日照强度。通过相关系数来分析各个气象因素对大棚湿度调控的影响,通过方差分析来检验其显著性。

3. 河北唐山葡萄大棚对湿度的调控效果

3.1. 河北唐山葡萄大棚对湿度的调控效果的总体趋势

利用河北唐山地区 2019 年葡萄开花坐果期曹妃甸唐海镇农研所试验基地气象观测站及小气候站所观测的逐小时棚外相对湿度、1.5 m 棚内湿度、棚内日照指数、棚外 2 分钟平均风速的资料,计算逐小时 1.5 m 棚内外湿度差,内外湿度差可以反映温室大棚对相对湿度的调控效果,内外湿度差为正表示温室大棚对湿度的调控作用为增湿,为负表示温室大棚对湿度的调控作用为降湿。计算各时刻 33 天内外湿度差的总平均值,利用图表相关分析法,得到河北唐山大棚葡萄开花坐果期期间一天中 24 个时刻大棚内外湿度差随时间变化的总体趋势图(图 1)。

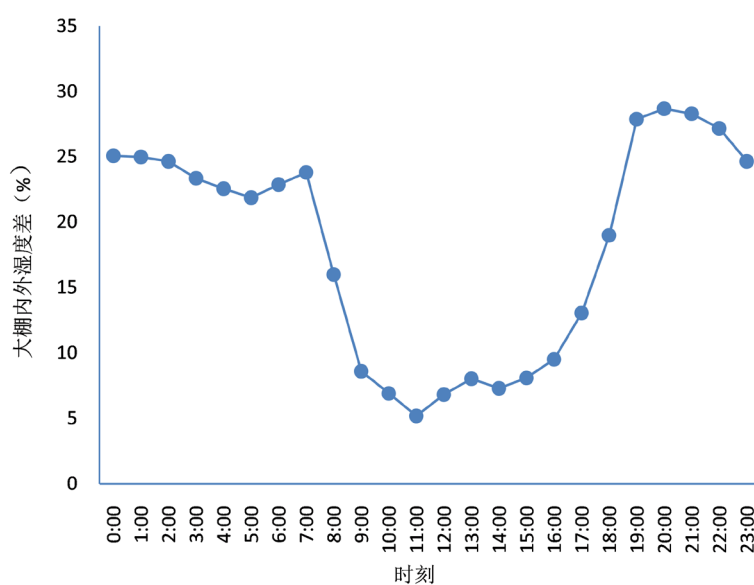


Figure 1. Overall trend of humidity difference between inside and outside greenhouses changing with time (unit: %)
图 1. 大棚内外湿度差随时间变化总体趋势(单位: %)

图 1 为大棚内外湿度差随时间变化总体趋势,由图可见:河北唐山大棚葡萄开花坐果期期间,总体上大棚的内外湿度差在每天的 0:00~7:00 保持稳定,有时有小的波动,湿度差平均保持在 21.9%~25.1%,每日的 7:00~9:00 大棚的增湿作用迅速减弱,9:00~16:00 大棚的增湿作用为一天中最弱,湿度差平均保持在 5.2%~9.5%,16:00~19:00 大棚的增湿作用迅速增强,19:00 后大棚的增湿作用持续减弱。

通过列出 2019 年河北唐山大棚葡萄开花坐果期期间每日最大、最小棚内外湿度差以及其出现的时间,并统计或计算出 3 月 29 日~4 月 5 日,4 月 6 日~4 月 13 日,4 月 14 日~4 月 21 日,4 月 22 日~4 月 30 日及整个开花坐果期最大、最小棚内外湿度差和不同时期内每日最大、最小棚内外湿度差的平均值(表 1),每日最大、最小棚内外湿度差出现的时间(图 2)。

图 2 是最大棚内外湿度差出现时刻天数和最小棚内外湿度差出现时刻天数,利用图 2 和表 1 可以看出:2019 年河北唐山大棚葡萄开花坐果期期间,白天大棚平均增湿 11%,夜间平均增湿 25.2%,日均增湿 18.1%,每日大棚增湿作用最强的时间在全天都有分布,其中以 0:00~2:00 为最多,有 12 天,占开花

坐果期总天数的 36.4%，每日最强增湿作用平均为 38.6%。每日大棚增湿作用最弱的时间一般出现在 4:00~16:00，其中以 9:00~13:00 为最多，有 24 天，占开花坐果期总天数的 72.7%，每日最弱增湿作用平均为-1.3%。

Table 1. During flowering and fruit-setting period, the humidity difference inside and outside the greenhouse

表 1. 开花坐果期大棚内外湿度差

日期	3月29日~ 4月5日	4月6日~ 4月13日	4月14日~ 4月21日	4月22日~ 4月30日	3月29日~ 4月30日
最大棚内外湿度差(%)	74.0	69.0	46.0	43.0	74.0
最小棚内外湿度差(%)	0.0	-20.0	-14.0	-21.0	-21.0
每日最大棚内外湿度差平均值(%)	63.5	33.5	36.1	23.1	38.6
每日最小棚内外湿度差平均值(%)	14.1	-3.6	-2.0	-12.2	-1.3
白天棚内外湿度差平均值(%)	27.6	7.4	9.7	0.6	11.0
夜间棚内外湿度差平均值(%)	50.2	23.1	23.2	6.6	25.2
内外湿度差平均值(%)	38.9	15.3	16.4	3.6	18.1

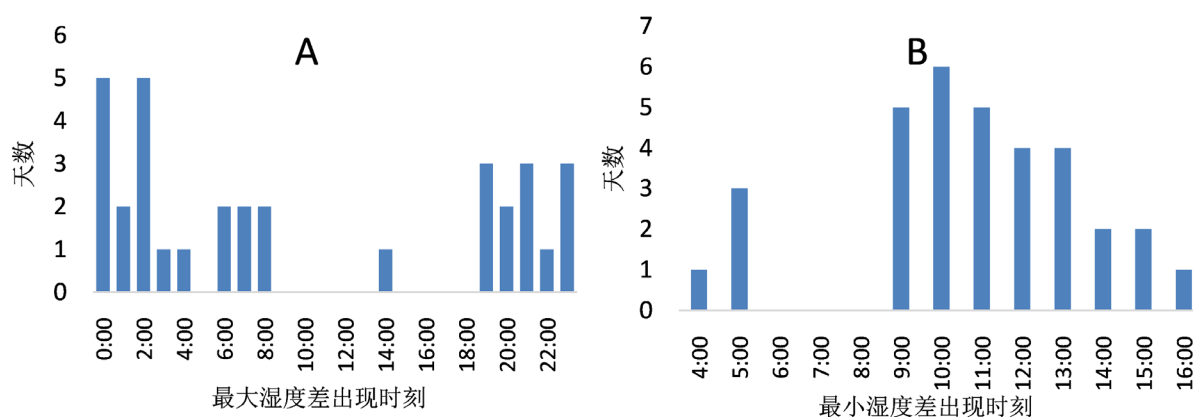


Figure 2. (A) The number of days when the maximum humidity difference between inside and outside the shed occurs; (B) The number of days when the minimum humidity difference between inside and outside the shed occurs

图 2. (A) 最大棚内外湿度差出现时刻天数；(B) 最小棚内外湿度差出现时刻天数

3.2. 河北唐山葡萄大棚对湿度的调控效果的影响因素

为进一步分析河北唐山葡萄大棚对相对湿度的调控效果受哪些物理因素影响，综合考虑该试验地区可能影响温室大棚对湿度的调控效果的气象因素，选取棚外相对湿度、棚内日照指数、棚外 2 分钟平均风速的逐小时资料与棚内外湿度差的数据进行对比，利用图表相关分析法、相关系数，对河北唐山地区葡萄温室大棚对湿度、的调控效果的影响因素进行分析。

3.2.1. 棚外相对湿度的影响

考虑到白天日照的影响，昼夜棚内农作物的光合作用与呼吸作用不同等因素，分别选取不同气象要素各自全天(0:00~23:00)、白天(7:00~18:00)以及夜晚(0:00~6:00, 19:00~23:00)的资料进行分析。

首先选取河北唐山大棚葡萄开花坐果期每日全天逐小时大棚内外湿度差和棚外相对湿度的资料进行分析，图 3 为 4 个不同时段(3 月 29 日~4 月 5 日，4 月 6 日~4 月 13 日，4 月 14 日~4 月 21 日，4 月 22 日~4 月 30 日)的双坐标折线。

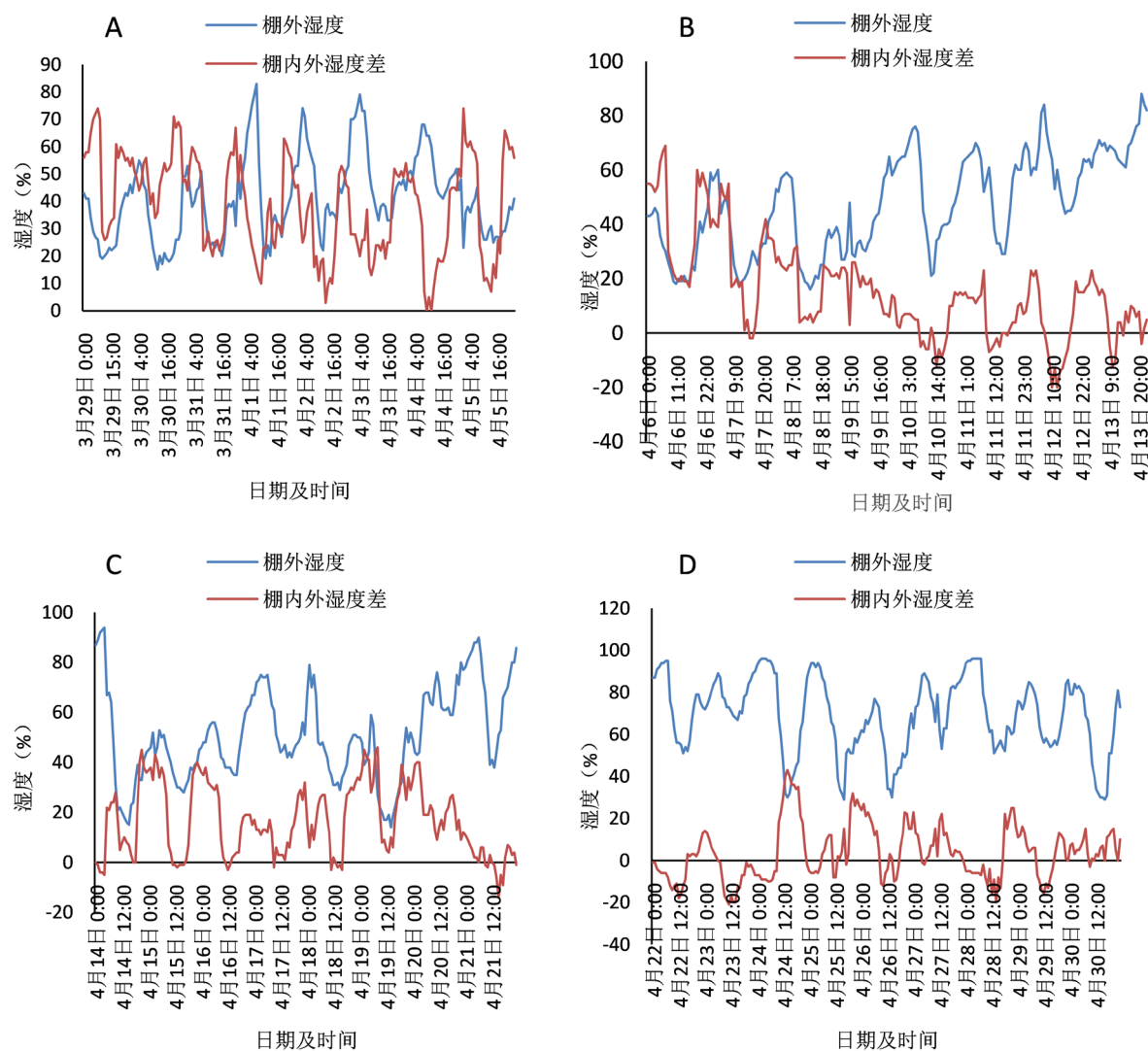


Figure 3. The variation trend of the humidity difference between inside and outside the greenhouse and outside the greenhouse over time. (A) 29 March to 5 April; (B) 6 April to 13 April; (C) 14 April to 21 April; (D) 22 April to 30 April

图 3. 大棚内外湿度差与棚外湿度随时间的变化趋势。(A) 3月29日~4月5日; (B) 4月6日~4月13日; (C) 4月14日~4月21日; (D) 4月22日~4月30日

图 3 是大棚内外湿度差与棚外湿度随时间的变化趋势, 通过图 3 可以发现, 除个别日期外, 大棚内外湿度差和棚外湿度两组数据的日变化趋势大致相同, 短期趋势的变化基本一致。但是在整体的大趋势上, 无法看出大棚内外湿度差和棚外湿度两组数据长期变化趋势的一致性。

为了研究大棚内外湿度差和棚外湿度两组数据变化趋势的具体的相关性, 选取白天(7:00~18:00)逐小时大棚内外湿度差和棚外相对湿度的资料进行对比。图 4 为 2019 年开花坐果期 33 天白天大棚内外湿度差随棚外湿度的变化趋势。

图 4 是白天大棚内外湿度差随棚外相对湿度的变化趋势由图可见: 在棚外相对湿度增大的方向上, 大棚的内外湿度差波动起伏较大, 从整体上可以看出大棚内外湿度差与棚外相对湿度的变化趋势相反, 随其增大而减小。

通过计算大棚内湿度差与棚外相对湿度数据的相关系数, 计算结果为: -0.42 , 相关系数在 0.4 至 0.6 之间, 说明大棚的内湿度温差与棚外相对湿度呈中等程度相关, 且两个变量呈负相关。

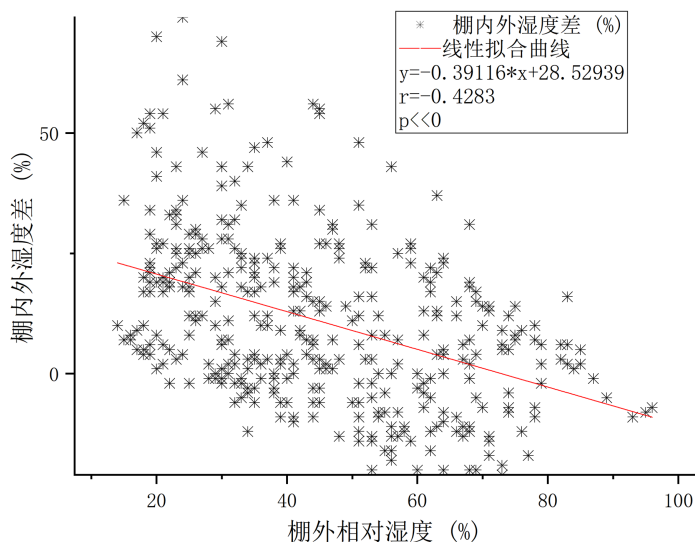


Figure 4. In the daytime, the humidity difference between inside and outside the greenhouse varies with the relative humidity outside the greenhouse

图 4. 白天大棚内外湿度差随棚外相对湿度的变化趋势

为了排除日照的影响,选取夜晚(0:00~6:00, 19:00~23:00)逐小时大棚内外湿度差和棚外相对湿度的资料进行对比。图 5 为 2019 年开花坐果期 33 天夜间大棚内外湿度差随棚外相对湿度的变化趋势。

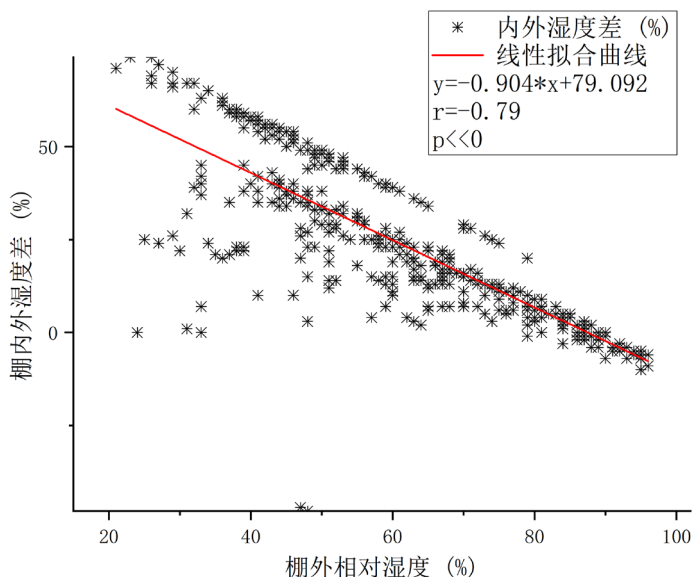


Figure 5. The variation trend of the humidity difference between inside and outside the greenhouse at night with the relative humidity outside the greenhouse

图 5. 夜间大棚内外湿度差随棚外相对湿度的变化趋势

图 5 为 2019 年开花坐果期 33 天夜间大棚内外湿度差随棚外相对湿度的变化趋势。由图 5 可见:棚内外湿度差与棚外相对湿度有着相反的变化趋势,当棚外相对湿度升高时,大棚的内外湿度差会降低。

通过计算大棚内外湿度差与棚外相对湿度数据的相关系数,计算结果为: -0.79,说明夜间大棚的内外湿度差与棚外相对湿度呈极强相关,且两个变量呈负相关。

3.2.2. 棚外 2 分钟平均风速的影响

河北唐山大棚葡萄在开花坐果期期间温室大棚的通风口昼夜处于开启状态,棚内外湿度差会受到棚外风速的影响,为分析棚外风速对温室大棚内外湿度差的影响情况,选取逐小时大棚内外湿度差和棚外 2 分钟平均风速各自全天(0:00~23:00)、白天(7:00~18:00)以及夜晚(0:00~6:00, 19:00~23:00)的资料进行分析。

首先选取河北唐山大棚葡萄开花坐果期每日全天逐小时大棚内外湿度差和棚外 2 分钟平均风速的资料进行分析。

图 6 为 4 个不同时段的双坐标轴折线图。通过图 6 双折线图可以发现:大棚的内外湿度差和棚外 2 分钟平均风速两组数据的短期变化趋势的一致性不明显。在整体的大趋势上,也无法看出两组数据的长期变化趋势的一致性。要分析两个变量的相关性,还需采用更直观的方法。

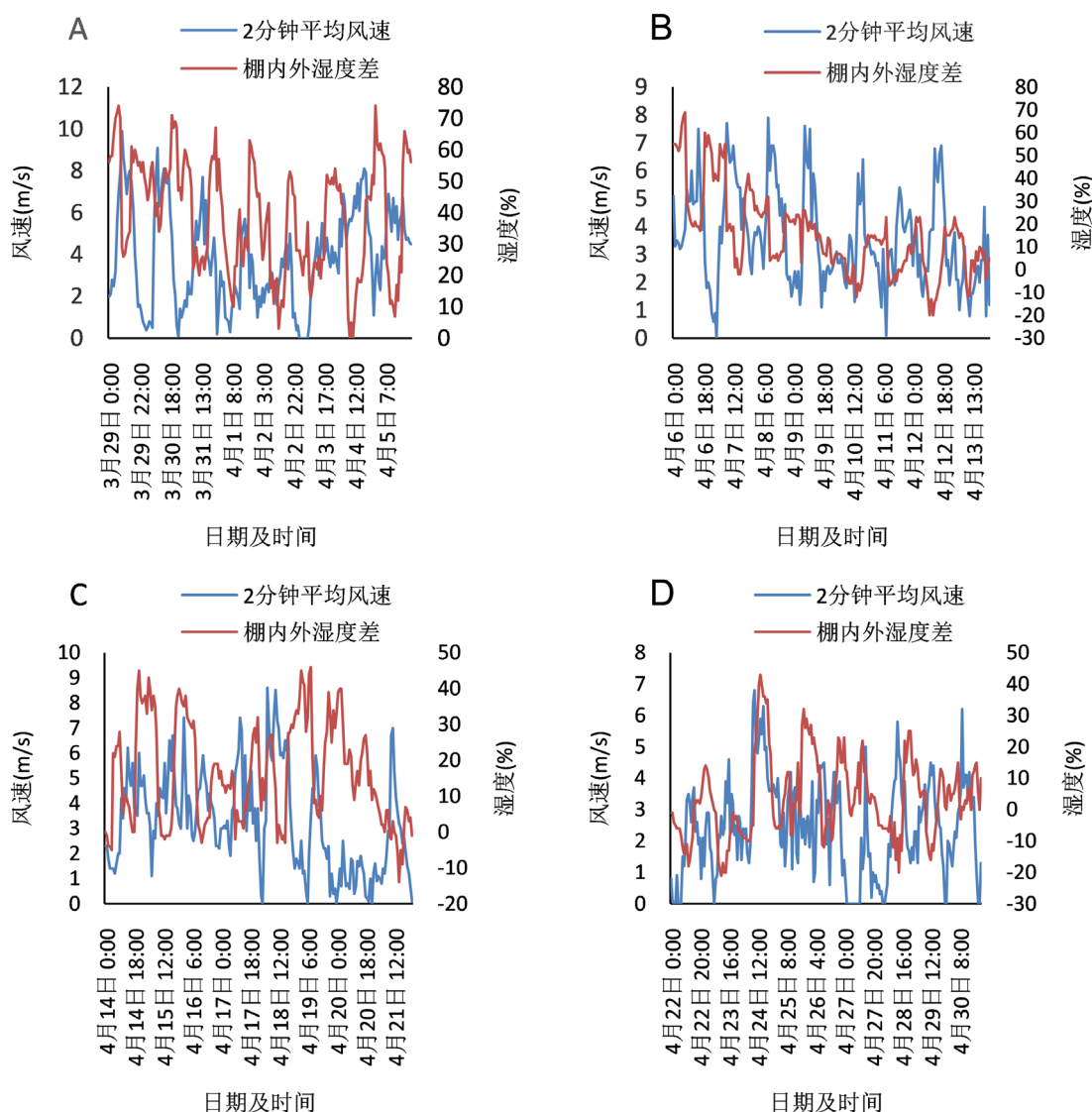


Figure 6. The variation trend of the humidity difference between inside and outside the greenhouse and the 2-minute average wind speed outside the greenhouse over time. (A) 29 March to 5 April; (B) 6 April to 13 April; (C) 14 April to 21 April; (D) 22 April to 30 April

图 6. 大棚内外湿度差与棚外 2 分钟平均风速随时间的变化趋势。(A) 3 月 29 日~4 月 5 日; (B) 4 月 6 日~4 月 13 日; (C) 4 月 14 日~4 月 21 日; (D) 4 月 22 日~4 月 30 日

图7为2019年开花坐果期33天白天大棚内外湿度差随棚外2分钟平均风速的变化趋势。由图7可见，在棚外2分钟平均风速增大的方向上，大棚的内外湿度差波动起伏较大，从整体上可以看出大棚内外湿度差与棚外2分钟平均风速的变化趋势相同，随其增大而增大。棚内外湿度差与棚外2分钟平均风速相关系数为：0.344，说明夜间大棚的内外湿度差与棚外2分钟平均风速呈弱相关，且两个变量呈正相关。

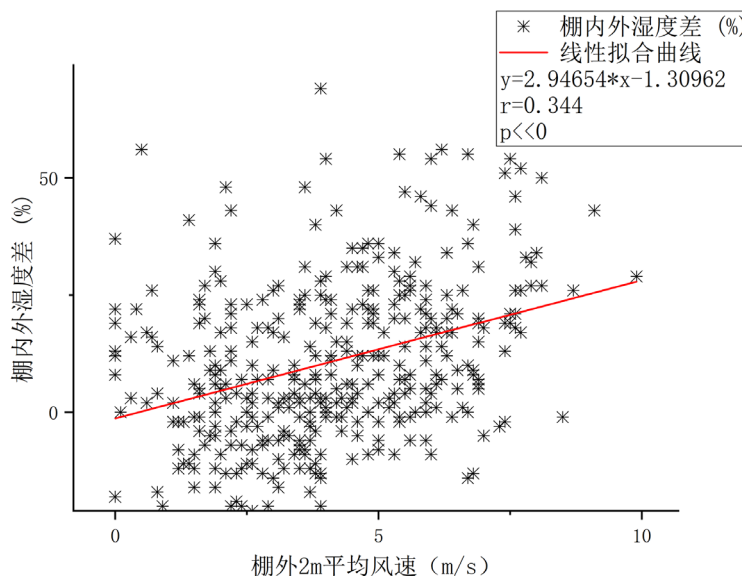


Figure 7. The variation trend of the humidity difference between inside and outside the greenhouse in the daytime with the 2-minute average wind speed outside the greenhouse

图7. 白天大棚内外湿度差随棚外2分钟平均风速的变化趋势

图8为2019年开花坐果期33天夜间大棚内外湿度差随棚外2分钟平均风速的变化趋势。图8可见，棚的内外湿度差波动起伏较大，从整体上可以看出大棚内外湿度差与棚外2分钟平均风速的变化趋势相同，随其增大而增大。

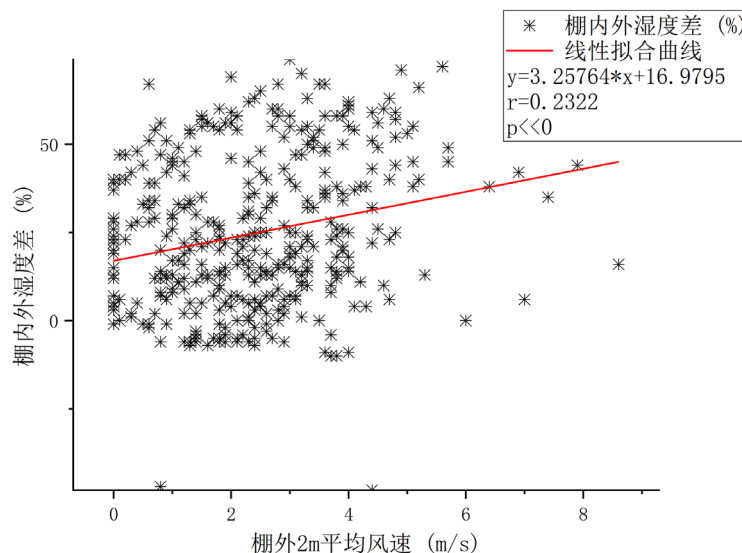


Figure 8. The variation trend of the humidity difference between inside and outside the greenhouse at night with the 2-minute average wind speed outside the greenhouse

图8. 夜间大棚内外湿度差随棚外2分钟平均风速的变化趋势

计算出大棚内外湿度差与棚外 2 分钟平均风速数据的相关系数, 计算结果为: 0.23, 说明夜间大棚的内外湿度差与棚外 2 分钟平均风速呈弱相关, 且两个变量呈正相关。

3.2.3. 棚内日照的影响

河北唐山大棚葡萄在开花坐果期间昼夜覆盖棚膜, 白天时大棚内外湿度差可能会受到太阳光照的影响, 为了分析日照对温室大棚内外湿度差的影响情况, 选取逐小时大棚内外湿度差和棚内光照强度各自全天(0:00~23:00)及白天(7:00~18:00)的资料进行分析。

首先选取河北唐山大棚葡萄开花坐果期中 3 月 29 日至 4 月 16 日共 19 天每日全天逐小时大棚内外湿度差和棚内光照强度的资料进行分析。

图 9 为 3 个不同时段的双坐标轴折线图通过图 9 可以发现, 大棚的内外湿度差和棚内日照强度两组数据的短期变化趋势相反。以规律性来说, 除极个别日期外, 大棚的内外湿度差每一天中的最低点与棚内日照强度每一天中的最高点出现的时间相差一般不超过 2 个小时, 基本重合。但在整体的大趋势上, 无法看出两组数据的长期变化趋势的一致性。

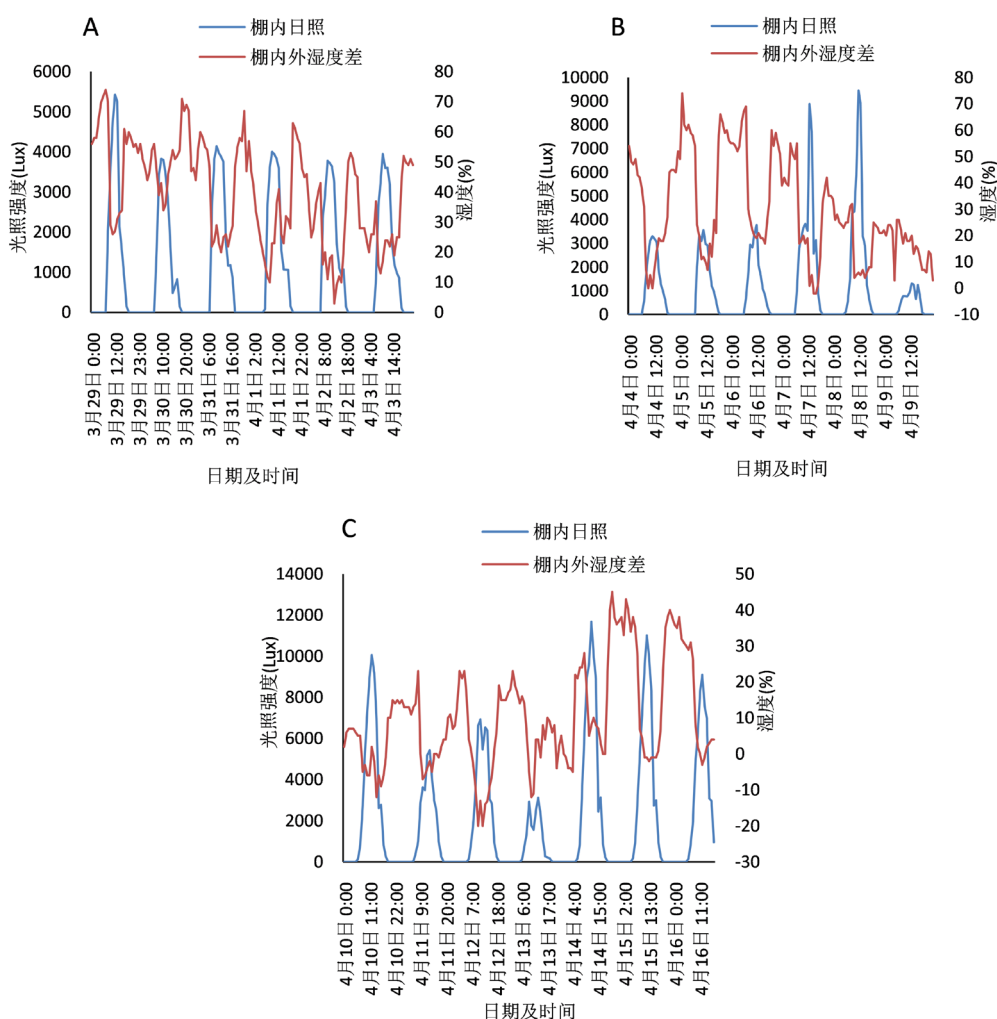


Figure 9. The variation trend of humidity difference inside and outside the greenhouse and sunshine intensity in the greenhouse with time. (A) 29 March to 3 April; (B) 4 April to 9 April; (C) 10 April to 16 April

图 9. 大棚内外湿度差与棚内日照强度随时间的变化趋势。(A) 3 月 29 日~4 月 3 日; (B) 4 月 4 日~4 月 9 日; (C) 4 月 10 日~4 月 16 日

为了研究大棚内外湿度差和棚内日照强度两组数据变化趋势的具体相关性，选取每日棚内有日照的时段逐小时大棚内外湿度差和棚内日照强度的资料进行对比。

图 10 为 3 月 29 日至 4 月 16 日 19 天白天大棚内外湿度差随棚内日照强度的变化趋势。由图 10 可见，在棚内日照强度增大的方向上，大棚的内外湿度差波动起伏较大，但是可以看出大棚的内外湿度差在总体趋势上随棚内日照强度的增大而减小。同样的方法计算出大棚内外湿度差与棚内日照强度数据的相关系数，计算结果为： -0.423 。说明大棚的内外湿度差与棚内日照强度呈中等程度的负相关。

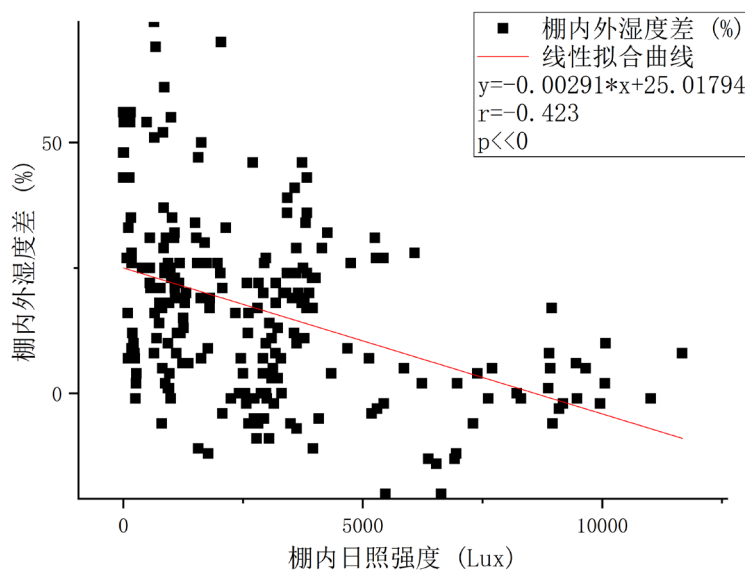


Figure 10. The variation trend of the humidity difference between inside and outside the greenhouse in the daytime with the sunshine intensity inside the greenhouse

图 10. 白天大棚内外湿度差随棚内日照强度的变化趋势

4. 结论

通过综合分析，最终得出以下结果：

1) 大棚对温度的调控效果在每天的 0:00~6:00 保持稳定，增温作用平均保持在 2.5°C ~ 2.7°C ，每日的 7:00~10:00 大棚的增温作用迅速增强，10:00~13:00 为一天中最强，增温作用平均保持在 9.9°C ~ 11.3°C ，13:00 后增温作用持续减弱。白天大棚平均增温 8.0°C ，夜间平均增温 2.7°C ，日均增温 5.3°C 。每日增温作用最强的时段以 10:00~13:00 为最多，占开花坐果期总天数的 66.7%，每日最强增温作用平均为 13.3°C ；每日增温作用最弱的时间以 23:00 为最多，占开花坐果期总天数的 21.2%，每日最弱增温作用平均为 0.4°C 。

2) 大棚对温度的调控效果与棚外气温在白天几乎没有相关性，在夜间呈强相关，且呈负相关。大棚对温度的调控效果与棚外 2 分钟平均风速在白天呈极弱相关，在夜间呈弱相关，且呈负相关。大棚对温度的调控效果与棚内日照在白天呈中等程度相关，且呈正相关。

3) 大棚对湿度的调控效果在每天的 0:00~7:00 保持稳定，时有小的波动，增湿作用平均保持在 21.9%~25.1%，每日的 7:00~9:00 大棚的增湿作用迅速减弱，9:00~16:00 增湿作用最弱，增湿作用平均保持在 5.2%~9.5%，16:00~19:00 增湿作用迅速增强，19:00 后持续减弱。白天大棚平均增湿 11%，夜间平均增湿 25.2%，日均增湿 18.1%。每日增湿作用最强的时间多在 0:00~2:00，每日最强增湿作用平均为 38.6%。每日增湿作用最弱的时间多在 9:00~13:00，每日最弱增湿作用平均为 -1.3% 。

4) 大棚对湿度的调控效果与棚外相对湿度在白天呈中等程度相关, 且呈负相关; 在夜间呈极强相关, 且呈负相关。大棚对湿度的调控效果与棚外 2 分钟平均风速在白天呈弱相关, 且呈正相关; 在夜间呈弱相关, 且呈正相关。大棚对湿度的调控效果与棚内日照呈中等程度相关, 且呈负相关。

参考文献

- [1] 李元哲, 吴德让, 于竹. 日光温室微气候的模拟与实验研究[J]. 农业工程学报, 1994, 10(1): 130-136.
- [2] 刘可群, 黎明锋, 杨文刚. 大棚小气候特征及其与大气候的关系[J]. 气象, 2008, 34(7): 101-107.
- [3] 黎明锋, 杨文刚, 阮仕明. 塑料大棚小气候变化特征及其与蔬菜种植的关系[J]. 湖北气象, 2004(4): 27-29.
- [4] 胡绵好, 沈彤, 刘明月, 等. 不同覆盖层次塑料大棚内温度和光照度的变化[J]. 湖南农业大学学报, 2004, 30(6): 545-548.
- [5] 符国槐, 张波, 杨再强, 等. 塑料大棚小气候特征及预报模型的研究[J]. 中国农学通报, 2011, 27(13): 242-248.
- [6] 袁静, 王令军, 徐剑平, 等. 大樱桃大棚小气候特征分析及预报[J]. 中国农学通报, 2015, 31(19): 173-179.
- [7] 孟力力, 杨其长, Gerard. P. A. Bot, 等. 日光温室热环境模拟模型的构建[J]. 农业工程学报, 2009, 25(1): 164-170.
- [8] 吉中礼, 崔鸿文. 塑料大棚小气候变化规律分析[J]. 西北农业学报, 1997, 6(1): 183-190.
- [9] 何南思. 温室大棚环境参数控制[D]: [硕士学位论文]. 沈阳: 沈阳工业大学, 2014.
- [10] 陈丹, 范万新, 梁萍, 等. 夏季不同结构塑料大棚的小气候特征[J]. 西北农林科技大学学报, 2008, 36(11): 183-190.
- [11] 刘常秀. 温棚土壤增温及室内温湿度调节系统对作物的影响试验初报[J]. 农业科技与信息, 2019(16): 20-22+24.
- [12] 吴凤日, 吴明根, 朱国君, 李峥, 傅民杰. 土壤温度、湿度对作物种子发芽能力的影响[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(3): 51-55.
- [13] 徐景花. 大棚温湿度变化规律及其对作物生长的影响[J]. 现代农业科技, 2014(24): 179+183.
- [14] 关蓓蓓. 作物生长环境模拟系统的研究[D]: [硕士学位论文]. 天津: 天津职业技术师范大学, 2013.