

DOI: 10.16861/j.cnki.zggc.2025.0516

# 锯齿棚结构创新优化探索与实践

明家琪<sup>1</sup>, 骆振营<sup>2</sup>, 肖芳麟<sup>3</sup>, 吴茵<sup>4</sup>, 宋倩<sup>2</sup>,  
邱祖明<sup>3</sup>, 钟敏<sup>3</sup>, 黄金香<sup>3</sup>, 宋远辉<sup>3</sup>

(1. 赣州市农业技术推广中心 江西赣州 341000; 2. 赣州市蔬菜花卉研究所 江西赣州 341000;  
3. 全国蔬菜质量标准中心(赣州)分中心 江西赣州 341000; 4. 江西省农业技术推广中心 南昌 330045)

**摘要:** 我国南方地区尤其是长江流域气候普遍存在春季多雨高湿、低温寡照, 夏秋季高温酷暑等现象, 现有普通连体钢架大棚存在蓄热保温性能不足、通风避雨能力差、人工操作不便、投入产出不合理等诸多弊端, 一定程度上影响了作物的正常生长和稳产增收。本文介绍了顶部竖式通风连栋大棚, 该棚型顶部通风口垂直或向外倾斜 5°、宽度 90~110 cm, 可有效加快春夏生产中棚内外空气对流, 较传统棚型具备更佳的降温排湿效能, 对保障蔬菜供应具有重要意义。

**关键词:** 南方地区; 塑料大棚; 顶部通风; 结构创新

中图分类号: S626.4 文献标志码: B 文章编号: 1673-2871(2026)04-269-06

## Exploration and practice of innovative optimization of serrated multi-span plastic greenhouse

MING Jiaqi<sup>1</sup>, LUO Zhenying<sup>2</sup>, XIAO Fanglin<sup>3</sup>, WU Yin<sup>4</sup>, SONG Qian<sup>2</sup>, QIU Zuming<sup>3</sup>, ZHONG Min<sup>3</sup>, HUANG Jinxiang<sup>3</sup>, SONG Yuanhui<sup>3</sup>

(1. Ganzhou Agricultural Technology Extension Center, Ganzhou 341000, Jiangxi, China; 2. Ganzhou Vegetable and Flower Research Institute, Ganzhou 341000, Jiangxi, China; 3. Ganzhou Sub-Center of National Vegetable Quality Standards Center, Ganzhou 341000, Jiangxi, China; 4. Jiangxi Agricultural Technology Extension Center, Nanchang 330045, Jiangxi, China)

**Abstract:** The climate in southern China (especially in the Yangtze River Basin) is generally characterized by heavy rain and high humidity in spring, low temperature and scarce sunshine, and high temperature and heat in summer and autumn. The existing ordinary connected steel frame greenhouses have many disadvantages, such as insufficient heat storage and insulation performance, poor ventilation and rain avoidance ability, inconvenient manual operation, and unreasonable input-output, which are to some extent not conducive to normal crop production and stable income increase. The article introduces a top vertical ventilation connected greenhouse, which has a vertical or outward sloping top ventilation opening of 5° and a width of 90-110 cm, effectively accelerating the air convection inside and outside the greenhouse during spring and summer production. Compared with traditional greenhouse types, it has better cooling and dehumidification efficiency, and has important promotion significance for ensuring convenient vegetable supply.

**Key words:** Southern region; Plastic greenhouse; Top ventilation; Structural innovation

现代设施农业, 尤其是蔬菜大棚技术的快速发展, 正深刻改变传统农业生产方式, 为蔬菜产业发展注入强劲动力。通过营造可控生长环境, 大棚设施有效克服了季节变换与气候波动带来的限制, 实现了蔬菜的周年化、稳产化供应, 不仅在单位面积产量上显著突破, 更持续提升了蔬菜的品质与安全性, 成为推动农业现代化、保障蔬菜稳定供给的核

心力量。截至 2024 年底, 全国设施蔬菜总面积达 266.67 万 hm<sup>2</sup>, 其中日光温室仍为北方越冬生产核心设施占比 29%, 简易塑料棚蔬菜作为南方主要大宗蔬菜春提早和秋延后供应占比 53%<sup>[1]</sup>。江西赣南地区设施大棚发展较晚, 先后从山东寿光引进冬暖式棉被棚, 中部地区引进肩部通风式连栋大棚, 以及广东、福建等地引入的传统锯齿棚型。然而, 由

收稿日期: 2025-07-18; 修回日期: 2026-01-08

基金项目: 江西省重点研发计划(20212BBF61004)

作者简介: 明家琪, 男, 高级农艺师, 主要从事园艺作物类技术与推广工作。E-mail: 645623591@qq.com

通信作者: 宋远辉, 男, 农艺师, 主要从事蔬菜栽培技术示范推广和标准研制集成应用工作。E-mail: 1846743028@qq.com

于所处地理环境差异和自身结构框架设计存在不足,难以适应南方地区尤其长江流域春季多雨高湿、低温寡照,以及夏秋季高温酷暑等不利气候条件,存在阶段性蓄热保温性能不足、通风避雨能力差、人工操作不便、投入产出不合理等诸多问题<sup>[2-3]</sup>。因此,通过优化大棚结构,改善棚内温光及湿度条件,对保障蔬菜供应、丰富蔬菜供应品种有着十分重要的意义。自2018年以来,先后在江西赣州崇义县、宁都县和南康区等地以广东、福建等地传统锯齿棚型为原型,经过不断实践探索,开发出具有赣南特色的顶部竖式通风结构和避雨功能为鲜明特点的“顶部竖式通风连栋钢架大棚”。经过持续应用推广和改良升级,通过在原有顶部竖式风口基础上增设棚内二膜系统、加装内外遮阳网、优化通风结构,形成了具备春夏季避雨、夏季通风遮阳、冬季蓄热保温的竖式通风新棚型,为长江流域地区农业生产中选取合适设施类型以及作物提质增产提供参考依据。

## 1 设施结构创新优化

### 1.1 主体结构创新

设施大棚按主体建筑样式可分为单体大棚、连

栋大棚、日光温室、拱棚、锯齿棚<sup>[4]</sup>。其中单体大棚、日光温室、拱棚因棚型较连栋大棚和锯齿棚小,一般跨度6~12 m,长度30~60 m,脊高2.5~4.0 m,导致土地利用率低(棚间需留通道)实际利用率通常只有60%~70%,以及造成农机(旋耕机等)难以进入,降低工作效率,严重制约农业规模化生产。顶部竖式通风大棚参考连栋大棚和锯齿棚大跨度(跨度10~30 m,长度50~100 m,脊高3~6 m)特点,土地利用率高85%~90%,而且空间大,便于机械化操作和环境调控。新型顶部竖式通风大棚见图1~3,棚



图1 顶部竖式通风型连栋钢架大棚

Fig. 1 Top vertical ventilated continuous steel frame greenhouse

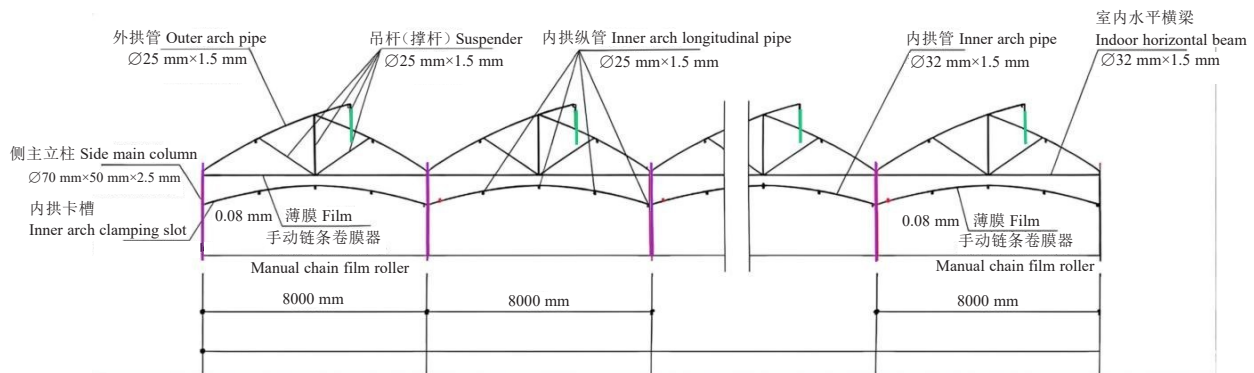


图2 顶部竖式通风型连栋钢架大棚端面结构图

Fig. 2 The end face structural diagram of top vertical ventilation type connected steel frame greenhouse

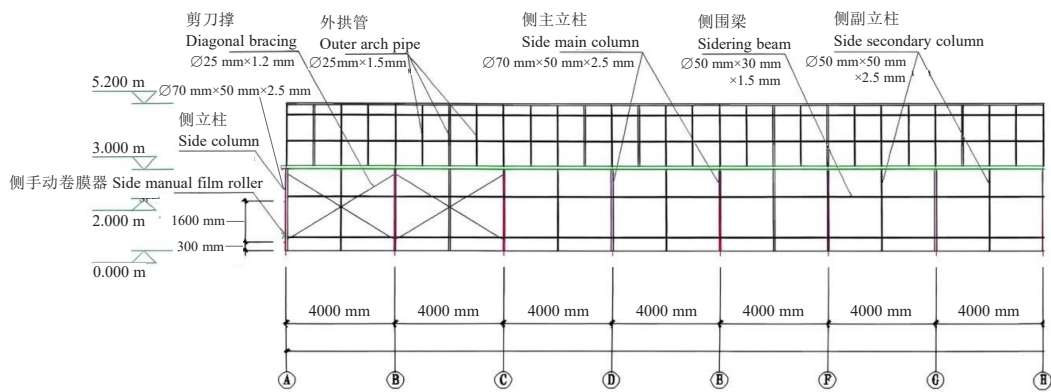


图3 顶部竖式通风型连栋钢架大棚侧面结构图

Fig. 3 Side structural diagram of top vertical ventilated continuous steel frame greenhouse

体高度不低于 4.5 m,肩高不低于 3 m,跨度 8 m,开间 4 m,脊高不低于 5.2 m,侧墙长度不得超过 60 m,用专用卡具连接,结构规格合理,形成装配式连栋大棚。

### 1.2 通风结构创新

大棚通风效果受通风口配置和形状、外部风速风向、种植作物等多个因素影响,其中通风口配置和形状是重要因素<sup>[5]</sup>。塑料大棚通常有 3 种通风配置:侧面通风、顶部通风、侧面和顶部组合通风,其中传统单体大棚、普通连体钢架大棚、拱棚主要通过两侧自然通风,降温排湿效果差,棚内温度和湿度过高导致作物产量和品质下降,比率在 15%~40%<sup>[6]</sup>。连栋大棚虽然通过侧面和顶部组合通风,在晴朗天气可以起到较好的降温排湿作用,但是遇到南方“梅雨”天气,侧面风口和顶部风口难以联动。此外,锯齿棚虽通过竖式顶风口在下雨天仍能正常通风,但因顶部开窗角度过小(通常 30°~45°),热空气难以快速排出,尤其在南方闷热无风天气,棚内易形成“热气罩”,通风效率比理想状态低 30%~40%<sup>[5]</sup>。结合既有大棚设计特点,对于新型顶部竖式通风大棚,通风口参考锯齿棚侧面和顶部组合通风的特点,通风口宽度 90~110 cm,垂直或向外倾斜 5°,四周通风口宽度 1.7~2 m,并加装 40~60 目防虫网(图 4)。配合棚体高度不低于 4.5 m 设计,顶部通风的“拔风”效果更明显(热空气上升距离长,通风效率高),以及与四周通风口形成“烟囱效应”,加速热空气排出,有效减少能源消耗(如无需开启风机、水帘),成本低于强制通风 15%~20%,且维护方便,适合长期规模化生产(图 5)。此外,顶部通风口

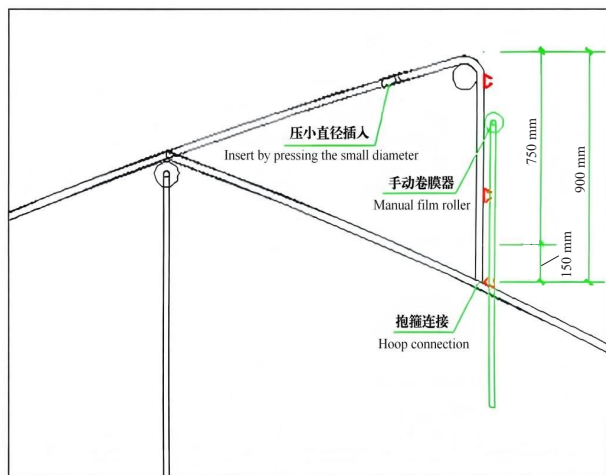


图 4 顶部竖式通风型连栋钢架大棚竖式风口端面结构  
Fig. 4 The vertical air outlet end face structure of top vertical ventilation type continuous steel frame greenhouse

向外倾斜 5°和调节风口等设计,既能有效降低雨水的进入,又能避免强风对棚体或作物的破坏,对精准调控大棚内环境参数、促进作物生长和提高产量具有重要意义。



图 5 顶部竖式通风型连栋钢架大棚竖式风口与侧面通风口结构

Fig. 5 The vertical air vents and side air vents structure of top vertical ventilation type connected steel frame greenhouse

### 1.3 保温结构创新

2023 年 6 月农业农村部联合国家发展改革委、财政部、自然资源部发布的《全国现代设施农业建设规划(2023—2030 年)》指出,南方冬季的“湿冷、高湿、寡照、偶发寒潮”等特点,对农业设施的保温性、排湿性、透光性提出了更高要求,传统设施(如单体大棚、连栋大棚、普通日光温室)因保温能力不足、通风排湿效率低等,易导致作物减产或品质下降,因此需要针对性地升级保温材料、增加强制通风设备、改善透光设计等优化大棚结构,以保障“菜篮子”稳定供应。经多年试验研究,延续了锯齿棚倾斜的锯齿屋面可减少冬季夜间 40%~50%红外辐射散热,较平屋顶连栋大棚夜间温度高 2~3 °C 的设计<sup>[7]</sup>。在二拱位置安装 0.08 mm 无滴 PO 膜(无滴聚烯烃膜)进行棚内保温,既可以保障透光率,又可以形成 1.5~2 m 的“顶部通风层+中间空气缓冲层+下部种植层”空气缓冲层,减少上下空气对流(热阻增加 0.5~0.8 K·W<sup>-1</sup>,间接降低种植区散热压力,温度提升 2~4 °C。此外,内拱两拱交接点安装 50 cm 以上定膜,二膜拱膜与边膜须重合 100 cm 以上,且在距各转角 30~50 cm 处加装竖向卡槽(图 6),避免因钢结构骨架导热系数高形成“冷

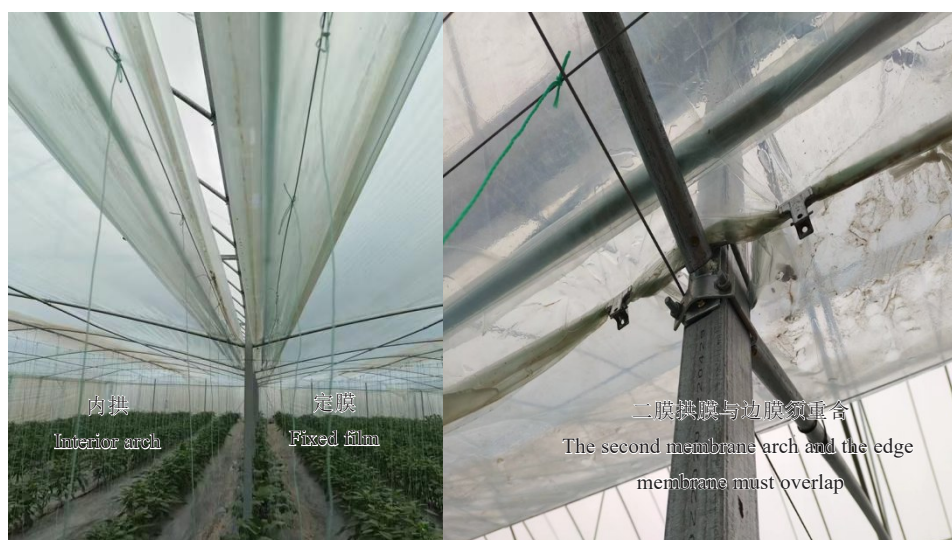


图6 二膜拱膜与边膜安装结构图

Fig. 6 Structural diagram of the second layer of greenhouse membrane inside the shed

桥”和棚膜关闭后留有缝隙,导致受冻风险增加。

## 2 创新结构应用实践和效益分析

### 2.1 典型气候时期温湿度调控对比

为了探究顶部竖式通风大棚创新结构性能优势,于2024年1月10日、5月10日和9月10日在江西省赣州市宁都县、信丰县小河镇和寻乌县,对露天、单体棚、普通连栋大棚和顶部竖式大棚温度、湿度进行监测记录,数据采集均为离地面1.5 m。低温季节设施大棚核心需求是保温升温和控制高湿,1月10日数据表明各时段顶部竖式通风大棚温度均高于露天、单体棚和普通连栋大棚,尤其在白天12:00优势最明显(图7~8),表明其冬季白天能提升日间温度、减少夜间散热,满足作物越冬需

求。然而在湿度调控上差异不大,这可能由冬季为达到较好保温效果而未有效利用顶部通风优势导致。5月气温回升,易出现日间高温,且棚内易因密闭导致高湿,需要大棚具有较好的通风降温 and 高效排湿性能。顶部竖式通风大棚早晚温度虽略低于其他棚型,但仍在适宜范围;日间高温时段(12:00),单体棚和普通连栋均超过35℃(存在高温危害风险),而顶部竖式大棚为31.2℃,通风降温效果极好,能有效避免作物因高温胁迫减产。在高效排湿性能方面,顶部竖式大棚发挥了顶部通风口和侧边通风口联动优势,棚内湿度显著低于单体棚和普通连栋大棚,尤其在夜间和傍晚高湿时段。各时段温湿度与其他棚型差异较小,但18:00顶部竖式大棚湿度为76.5%,低于单体棚(87.6%)和普通连栋大棚

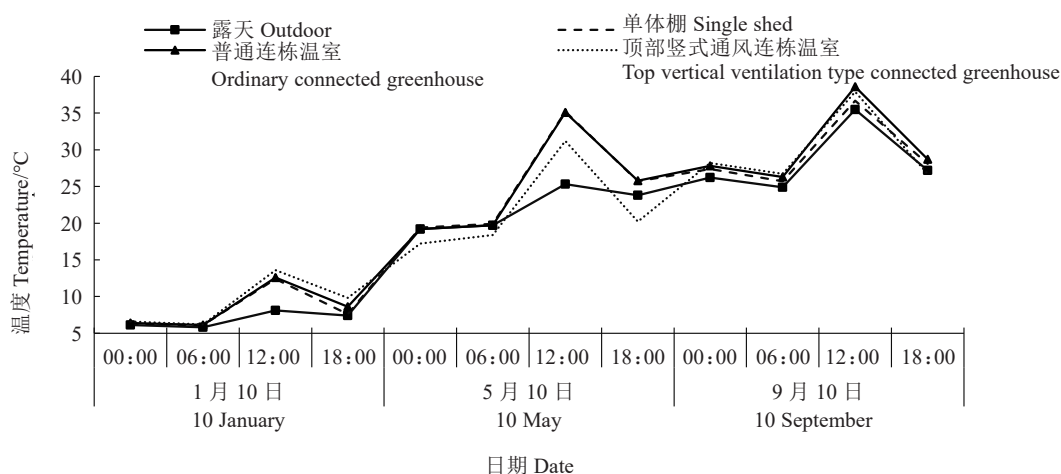


图7 各类棚型不同阶段温度差异统计

Fig. 7 Statistics of temperature difference at different stages for various greenhouses types

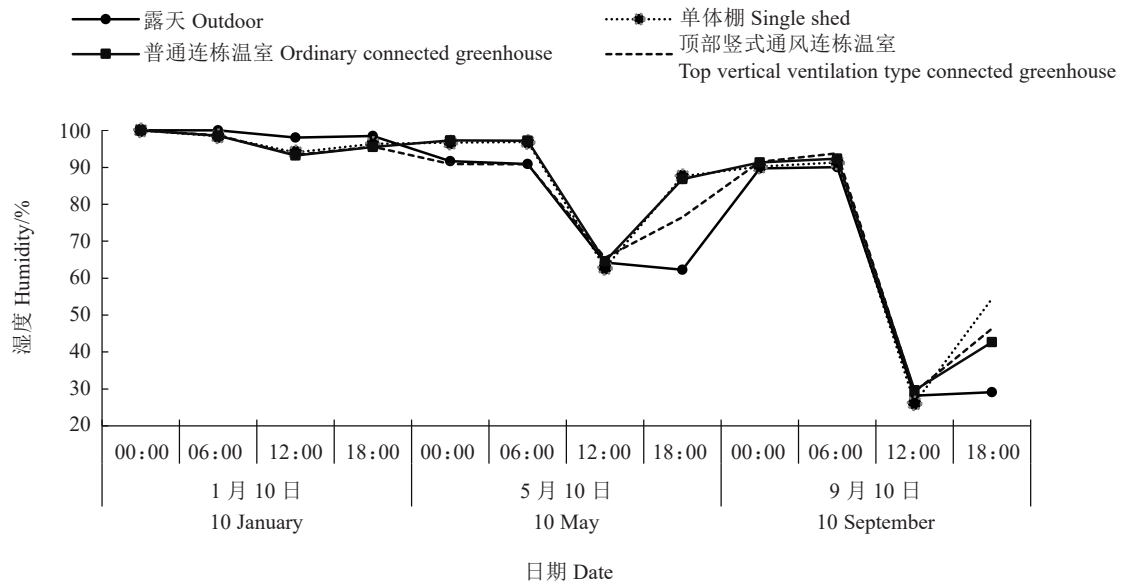


图8 各类棚型不同阶段湿度差异统计

Fig. 8 Statistics of humidity difference at different stages for various greenhouses types

(86.8%),傍晚排湿能力更强,可减少夜间高湿对作物的影响。9月天气晴朗,易造成棚内热辐射积累,需重点避免棚内高温和维持湿度稳定。

## 2.2 典型区域效益分析

目前该类型大棚及其改良版已在赣州、抚州、吉安、九江、上饶等省内地区和湖北武汉、湖南益阳、广西贺州、重庆开州区等省外地区推广应用。截至2024年底,已建设顶部竖式通风连栋大棚6万栋,面积2.4万 $\text{hm}^2$ 以上,其中江西占比40%、贵州占比20%、湖北占比15%,其他地区占比25%,生产作物主要是越冬茬辣椒、番茄、茄子等茄果类,越夏茬的黄瓜、丝瓜、豇豆(或休棚、高温闷棚),早春茬、秋延茬的苦瓜、丝瓜等果菜类蔬菜,效益良好。

江西省赣州市宁都县田头镇田源蔬菜种植专业合作社2018年建成,基地面积13.33 $\text{hm}^2$ ,主要种植越冬长茬螺丝椒,产品销往江西省及周边市场。越冬茬2021年8月至2022年6月种植薄陇37-94螺丝椒,平均667 $\text{m}^2$ 产量6500 $\text{kg}$ ,平均售价6元 $\cdot\text{kg}^{-1}$ ,667 $\text{m}^2$ 年产值39000元,667 $\text{m}^2$ 大棚建设成本47357元(71元 $\cdot\text{m}^2$ ),667 $\text{m}^2$ 生产资料、人工投入15000元,折算667 $\text{m}^2$ 年换膜等成本2000元,大棚按照10年折旧,扣除各项成本,折合667 $\text{m}^2$ 年效益17256元。较简易塑料棚(用于早春和秋延栽培)在冬季(12月至翌年1月)延长2个月采收期,平均667 $\text{m}^2$ 效益增加15000元。

广西壮族自治区柳州市绿色田园蔬菜科技有

限责任公司蔬菜基地于2024年建成,基地建设面积57.76 $\text{hm}^2$ ,主要种植黄瓜,产品销往粤港澳大湾区市场。2024年8—12月到2025年5月种植两茬黄瓜,较传统避雨式锯齿棚,病虫害防控成本降低15%,采收期延长15d左右,每茬平均667 $\text{m}^2$ 产量7000 $\text{kg}$ ,产量提升25.87%(传统避雨式锯齿棚平均667 $\text{m}^2$ 产量5561 $\text{kg}$ ),售价4元 $\cdot\text{kg}^{-1}$ ,两茬平均667 $\text{m}^2$ 产值56000元,夏季6—8月蔬菜基地高温闷棚和土壤改良。除去667 $\text{m}^2$ 大棚建设成本52026元,667 $\text{m}^2$ 生产资料、人工投入24000元,折算667 $\text{m}^2$ 年换膜等成本2000元,大棚按照10年折旧,扣除各项成本,折合667 $\text{m}^2$ 年效益24798元。

江西省九江市彭泽县农硕生态农业有限公司蔬菜基地2021—2022年底建成,基地面积46.2 $\text{hm}^2$ ,主要种植奶白菜等叶菜品种,产品销往“江浙沪”地区高端商超。较普通连栋大棚肩高提升至3m以上,配合农用机械和微喷灌系统,周年可种植7茬有机叶菜,每茬667 $\text{m}^2$ 产量900 $\text{kg}$ ,均价10元 $\cdot\text{kg}^{-1}$ ,667 $\text{m}^2$ 年产值63000元,平均667 $\text{m}^2$ 大棚建设成本48024元 $\cdot\text{m}^2$ (72元 $\cdot\text{m}^2$ ),生产资料、人工投入23000元,折算平均667 $\text{m}^2$ 年换膜等成本2000元,大棚按照10年折旧,扣除各项成本,折合平均667 $\text{m}^2$ 年效益33198元。

## 3 棚型优势与改进建议

### 3.1 竖式通风结构优势

一是通过对锯齿形连栋塑料温室进行结构优

化设计,消除了初始模型中主拱架的不安全失稳状态,抗风能力提升30%,材料利用率提高15%~20%。以跨度8 m的大棚为例,钢材用量减少12%,同时通过半拱形棚顶设计,有效减少风载对结构的冲击,在长期使用过程中,既满足结构强度和稳定性要求,同时也提高了各结构主要构件的材料强度利用率,适合规模化种植。二是竖式通风设计能实现热空气自然对流,室内热空气上升后经竖式通风口排出,形成高效气流循环。与普通连栋大棚相比,其通风降温差5.6℃以上,显著降低作物热应激风险。在长江流域多雨地区,该设计允许通风口持续开放,避免频繁人工操作,降低管理成本。三是竖式通风设计实现“春避雨、夏散热、冬保暖”功能。冬季通过卷膜机构关闭通风口,结合双层覆盖材料,夜间保温性能提升13.95%;夏季利用自然通风降低湿度10.3%以上,减少病害发生。

### 3.2 竖式通风结构改进建议

竖式通风钢架大棚通过结构优化与自然通风设计,在长江流域多雨区展现出优良的经济效益和较高的生态价值。未来改进需聚焦智能化、轻量化与资源化整合,推动农业设施向高效、低碳方向发展。一是通风口智能化调控。当前卷膜开窗机依赖人工操作,建议集成物联网传感器,实时监测棚内温度湿度,并自动调节通风口开合度。例如,在高温时段自动打开通风口,减少人工干预频率。二是材料与结构优化。采用高强度铝合金或碳纤维复合材料替代部分钢材,减轻结构自重,同时提升抗腐蚀性,延长大棚使用寿命至10年以上。三是标准化与模块化推广。针对长江流域不同气候区,制定标准化设计参数,如通风口宽度与棚体宽高比的优化公式。推广模块化建造模式,农户可根据种植需求选择基础模块,缩短建设周期至7~10 d,降低初始投入成本。

## 4 小结

通过对锯齿形连栋塑料温室进行结构优化设计,消除了初始模型中主拱架的不安全失稳状态,在满足结构强度和稳定性要求的同时,提高了各结构主要构件的材料强度和利用率。顶部竖式通风钢架大棚适用于气候多变的地区,尤其在江西全省乃至长江流域亚热带多雨区普遍适用。这种大棚与普通连栋钢架大棚相比,具有空间结构合理、管材质量好、通风降温降湿快、保温性能佳等特点,能够适应春避雨、夏散热和冬保暖的需求,有效应对极端气候条件,可为作物提供更加适宜的生长环境,经过多品种多茬口示范推广应用,取得了较好的经济效益。此外,大棚的通风口宽度适宜,且配备卷膜开窗机,棚体宽高比例适宜,使得大棚的管理更为方便,尤其在降雨天气无需开关风口,能大幅度降低人工操作的难度和劳动强度,可作为长江流域地区农业生产中选取的合适设施类型,可为作物提质增产提供有效保障。

### 参考文献

- [1] 路鹏,郑文刚,张钟莉莉,等.智慧设施园艺研究进展与前沿热点[J].农业工程,2025,15(2): 58-66.
- [2] 周义之,王军伟,陈琼,等.大棚结构与覆盖材料的温光效应及其对黄瓜产量的影响[J].北方园艺,2020(3): 54-61.
- [3] 杨小锋,刘建,曹明,等.热区经济型抗台风钢管塑料大棚结构优化设计[J].中国农机化学报,2016,37(12): 48-52.
- [4] 孙园朝,王惠,刘天翔,等.不同设施类型通风技术装备的发展现状及趋势[J].中国农学通报,2024,40(26): 159-164.
- [5] 何科爽,陈大跃,孙丽娟,等.不同风况和开窗配置对夏季单栋塑料温室微气候的影响[J].农业机械学报,2017,48(12): 311-318.
- [6] 郑艳姣,杨再强,王琳,等.中国南方设施番茄高温热害风险区划[J].应用气象学报,2021,32(4): 432-442.
- [7] 申风光,王传清,刘凯,等.寡连栋塑料大棚内保温效果研究[J].农业工程技术,2023,43(15): 34-37.