

河南省伏牛山区鲜香菇周年出菇区划

孔维丽¹, 王晓芳¹, 刘金玲¹, 杨光仙², 成林², 韩耀杰²,
李孟夏², 王昱峰¹, 吴杰¹, 郑靖康¹

(1. 河南省农业科学院食用菌研究所·农业农村部黄淮海食用菌种质资源评价与
利用重点实验室 郑州 450002; 2. 河南省气象科学研究所 郑州 450003)

摘要: 河南伏牛山区鲜香菇周年供应合理出菇时序布局可为香菇菌棒生产、品种选育及设施栽培优化提供科学依据。选取伏牛山区南坡西峡县和北坡卢氏县作为试验区域, 以 200 m 海拔梯度划分区域, 基于旬均温和日均温绘制温度序图, 系统结合不同温型香菇出菇温度的要求和大棚温控性能, 建立周年出菇方案。两地区旬均温 $<3^{\circ}\text{C}$ 的低温持续期集中于 12 月至翌年 2 月, $>24^{\circ}\text{C}$ 的高温期在 6 月中旬至 8 月下旬, 西峡县高海拔区域未出现高温期。日均温分析显示, 西峡县和卢氏县日均温 $<3^{\circ}\text{C}$ 的时间分别为 135 和 130 d, $>24^{\circ}\text{C}$ 的高温时段集中在低海拔区。基于广温型与低温型($3\sim 24^{\circ}\text{C}$)香菇出菇需求, 结合标准设施大棚的温度调控阈值, 提出时序布局: 秋冬季出菇随海拔降低每 200 m 顺延 1 旬(西峡 8 月上旬至 12 月上旬, 卢氏 7 月下旬至 11 月下旬); 春夏季出菇随海拔升高每 200 m 推迟 1 旬(西峡 2 月上旬至 6 月下旬, 卢氏 2 月中旬至 6 月下旬)。高温季节利用高海拔凉爽气候+大棚降温, 低温季节依托低海拔温热环境+大棚增温。伏牛山区热量资源呈显著垂直地带性, 通过标准大棚和适温品种搭配, 中高海拔区域构建“秋冬-春夏”双季栽培模式, 高海拔地区可拓展“冬春-夏秋”错季生产体系, 保障鲜香菇全年供应。

关键词: 香菇; 伏牛山区; 周年出菇区划

中图分类号: S646.1² 文献标志码: A 文章编号: 1673-2871(2026)02-072-09

Annual supply zoning for fresh *Lentinula edodes* in the Funiu Mountain area of Henan province

KONG Weili¹, WANG Xiaofang¹, LIU Jinling¹, YANG Guangxian², CHENG Lin², HAN Yaojie², LI Mengxia², WANG Yufeng¹, WU Jie¹, ZHENG Jingkang¹

(1. Institute of Edible Fungi, Henan Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Germplasm Resource Evaluation and Utilization of Edible Fungi in the Huang-Huai-Hai Region, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Zhengzhou 450002, Henan, China;
2. Henan Meteorological Science Research Institute, Zhengzhou 450003, Henan, China)

Abstract: The rational arrangement of fruiting schedules for year-round fresh shiitake mushroom (*Lentinula edodes*) supply in the Funiu Mountain area of Henan province can provide a scientific basis for mushroom stick production, cultivar selection, and facility cultivation optimization. The study selected Xixia county on the southern slope and Lushi county on the northern slope of the Funiu Mountains as experimental areas. Regions were divided by 200 meters elevation gradients, and temperature sequence maps were plotted based on ten-day mean and daily mean temperatures. By systematically integrating the temperature requirements for fruiting of different shiitake strains and the temperature control performance of greenhouses, a year-round fruiting schedule was established. In both areas, the low-temperature period with ten-day average temperatures below 3°C was concentrated from December to February of the following year, while the high-temperature period above 24°C occurred from mid-June to late August, with no high-temperature period observed in high-altitude areas in Xixia. Analysis of daily average temperature showed that the durations with daily average temperatures below 3°C were 135 days and 130 days for Xixia county and Lushi county, respectively, while high-temperature periods 24°C were mainly concentrated in low-altitude areas. Based on the fruiting requirements of wide-temperature and low-temperature strains ($3\sim 24^{\circ}\text{C}$) and combined with the temperature control thresholds of standard greenhouses, a temporal layout was proposed. For Autumn-winter fruiting, each 200 meters decrease in elevation delayed the schedule by one ten-day period (Xixia: Early August-early December; Lushi: Late July-late November). For spring-summer fruiting, each 200 me-

收稿日期: 2025-06-06; 修回日期: 2025-07-06

基金项目: 河南省现代农业产业技术体系(HARS-22-08-S)

作者简介: 孔维丽, 女, 研究员, 主要从事食用菌育种研究工作。E-mail: kongweili2005@126.com

ters increase in elevation postponed the schedule by one ten-day period(Xixia: Early February-late June; Lushi: Mid-February - late June). During the high - temperature season, the cool climate of high-altitude areas was utilized along with greenhouse cooling measures, while in the low-temperature season, the relatively warm environment of low-altitude areas was leveraged alongside greenhouse heating. The thermal resources in the Funiu Mountain area exhibit significant vertical zonation. By combining standard greenhouses with temperature-appropriate cultivars, a "autumn - winter and spring - summer" dual - season cultivation model can be established in mid-to-high altitude regions, while a "winter-spring and summer-autumn" staggered-season production system can be expanded in high-altitude regions, ensuring a year-round supply of fresh shiitake.

Key words: Fresh *Lentinula edodes*; Funiu Mountain; Annual supply zoning

香菇(*Lentinula edodes*)作为我国栽培规模最大、地理分布最广的食用菌品种,其消费市场规模呈现持续增长态势^[1]。统计数据显示,2003—2021年间中国人均香菇年消费量增长4.5倍^[2]。家庭消费、餐饮服务和食品加工企业构成核心消费群体领域^[3]。随着居民生活水平提升与健康意识增强,鲜香菇因兼具烹饪适配性与营养特性,逐渐成为消费市场的主导品类^[4]。2022年至今我国香菇鲜食领域占比在84.4%以上,加工领域仅占15.6%^[3,5]。由此可见,鲜香菇周年均衡供应已成为食用菌产业升级的核心命题。在鲜香菇供应体系构建方面,当前工厂化栽培虽然理论上可实现周年化出菇,但受限于菌丝的生长周期长^[6]、多茬次精细化管理及高能耗成本^[7],导致其市场价格竞争力不足,难以满足大规模消费市场需求^[8]。

我国地形地貌复杂多样,其中山区面积占比达2/3,平原仅占约12%,且疆域南北跨纬度近50°、东西跨经度超60°,形成显著的气候梯度分异特征。这种自然地理条件为依托区域气候资源并结合设施农业调控技术实现鲜香菇周年供应提供了可行性路径,相较于工厂化栽培更具成本效益优势。河南作为我国食用菌产业核心产区^[9],据中国食用菌协会统计,河南香菇产量稳定在430万t,占全国生产总量的近30%^[10]。其主产区伏牛山区横跨长江和黄河流域,海拔垂直梯度范围是181~2212 m,垂直气候梯度显著^[11]。其中,北坡(以卢氏县为代表)冬春季节受西北季风影响,气候寒冷干燥;南坡(以西峡县为代表)气候温润、降水充沛。该区域香菇栽培起源于20世纪90年代^[12],30余年来先后经历了椴木栽培向人工代料栽培的技术革新阶段,形成典型的“春栽香菇”生产模式。“春栽香菇”模式通常在春季制棒,秋冬至翌年春季集中出菇,年栽培规模超过20亿棒^[13]。然而,该模式是基于冷链物流体系不完善、干菇市场消费需求大的历史原因形成的。近年来,香菇消费需求变迁,导致以季节性栽培的春栽模

式为主导,香菇出菇上市季节高度集中,造成市场价格竞争激烈,其他季节鲜菇供应断档,难以满足市场对鲜香菇全年均衡供应的需求^[3]。在河南境内要解决季节性生产与鲜香菇周年供应的矛盾,实现鲜香菇的周年均衡供应,有必要研究伏牛山垂直气候差异、香菇品种温度适应性和不同出菇大棚控温能力,以三个要素协同为核心开展香菇种植区划研究,为构建鲜香菇周年均衡供应模式奠定基础。

农业气候区划作为农业生产布局的重要理论工具^[14],通过量化分析区域气候要素的空间分异规律,为农作物品种布局、耕作制度改革及栽培技术优化提供科学依据^[15]。自1929年竺可桢提出“中国气候区域论”以来^[16],我国农业气候区划研究在粮食作物(如小麦^[17]、玉米^[18])的品种适应性评价、病虫害防治及气象灾害防控等领域取得显著成果。然而,针对食用菌产业的气候区划研究仍处于空白,尤其在鲜香菇周年生产的区域布局优化方面缺乏系统性研究。

综上所述,笔者选取伏牛山区南坡西峡县与北坡卢氏县作为典型研究区域^[19],通过系统分析不同海拔梯度的温度、时空变化特征,结合香菇品种温型分类、积温需求及设施大棚温控性能,构建鲜香菇周年生产的气候适应性区划体系,旨在为伏牛山区食用菌产业的可持续发展提供理论支撑与实践指导。

1 材料与方法

1.1 试验区域与海拔分区

本研究选取伏牛山南坡西峡县和北坡卢氏县作为典型代表区域。西峡县位于东经111°01′~111°46′,北纬33°05′~33°48′,总面积3454 km²,境内海拔181~2212.5 m。地势呈西北高、东南低,北部为高海拔、大坡度的中低山地,向南过渡为鹤河谷地,两侧分布起伏较大的低山丘陵。卢氏县位于北纬33°33′~34°23′、东经110°35′~111°22′,区域面积4004 km²,地势西高东低、南高北低,海拔482~

2 057.9 m。依据区域海拔划分气候条件,以 200 m 为分区单元,将海拔划分为三类:低海拔区(<600 m)、中海拔区(600 m≤海拔<1000 m)和高海拔区(≥1000 m)。

1.2 气象数据采集

收集西峡县与卢氏县气象站点 1991—2022 年的气象数据,以 200 m 海拔为单位计算不同海拔的旬平均温度,绘制两地区的旬等温线图。同时采集两县气象站点近 5 年的日均温度数据,结合不同温型香菇品种的出菇温度范围,绘制各海拔区的出菇温度日序

图。所有气象数据均由河南省气象研究所提供。

1.3 香菇温型、菌龄、有效积温划分

根据前期对香菇不同品种温型、菌龄、有效积温的研究结果,按照出菇温度将香菇分为四类温型:低温型、中温型、高温型和广温型。低温型品种出菇温度 2~25.7 ℃,日均温度 3.4~14.5 ℃;中温型品种出菇温度 4.2~25.7 ℃,日均温度 7~14.5 ℃;高温型品种出菇温度 4.2~28 ℃,日均温度 7~23.6 ℃;广温型品种出菇温度 2~28 ℃,日均温度 3.4~23.6 ℃(表 1)。

表 1 不同温型香菇品种出菇温度范围

Table 1 Temperature ranges for fruiting of mushroom varieties with different temperature types °C			
品种温型 Temperature type of variety	日最高温 Maximum daily temperature	日最低温 Minimum daily temperature	日均温 Average daily temperature
低温型、广温型 Low-temperature type, wide-temperature type	7.6~9.9	-0.4~1.0	3.4~3.7
中温型、低温型、高温型、广温型 Medium-temperature type, low-temperature type, high-temperature type, wide-temperature type	18.4~25.0	1.2~7.7	7.0~14.5
高温型、广温型 High-temperature type, wide-temperature type	27.9~34.1	14.7~15.9	19.7~23.6

菌龄划分依据养菌期有效积温:短菌龄(1300~1400 ℃)、中菌龄(1400~1700 ℃)、长菌龄(>1700 ℃)。出菇期有效积温则为:中温型 900~1000 ℃,中偏高温型 1000~1100 ℃,中偏低温型 1100~1200 ℃,广温型>1200~1300 ℃。

1.4 香菇大棚类型及升降温能力

根据日均温度阈值(>24 ℃为高温天气,<3 ℃为低温天气),不同大棚类型的温度调控能力存在明显差异(表 2),大棚建设标准越高,降温能力越强。高温天气,简易大棚不具备降温能力,简易标准型大棚有 2~5 ℃降温能力,小型联动温室有 5 ℃以上降温能力,双网双膜拱形大棚、温室大棚分别具备 3~8 ℃降温能力;低温天气中,所有大棚均

具有升温能力,小型联动温室、双网双膜拱形大棚、温室大棚具有 5~10 ℃的升温能力,并具有较强的保温能力(表 2)。

1.5 气温类型划分及评判标准

基于西峡县和卢氏县 12 个月份不同海拔的旬均温,结合简易标准型大棚的温控能力(低温升温 2 ℃、高温降温 2 ℃),划分低温区域、中温区域和高温区域,并界定低温预警线(日均温<3 ℃)和高温预警线(日均温>24 ℃),具体出菇温度区间划分为:低温出菇期(3~7 ℃)、适宜出菇期(7~15 ℃)、中温出菇期(15~20 ℃)和高温出菇期(20~24 ℃)。

1.6 香菇周年出菇区划

以西峡县和卢氏县的旬等温线为基础,划分低

表 2 大棚类型温度调控能力

Table 2 Temperature regulation capabilities of greenhouse types °C			
大棚类型 Greenhouse type	高温天气降温能力 Cooling capacity in high-temperature weather	低温天气升温能力 Heating capacity in low-temperature weather	低温天气保温能力 Heatretention capacity in low-temperature weather
简易大棚 Simple greenhouse	-2.3~-0.2	2.5~4.2	0.6~0.9
简易标准型大棚 Simple-standard greenhouse	1.8~5.0	3.0~5.6	2.2~3.7
小型连栋温室(标准型) Simple-linkage greenhouse (standard type)	5.0~8.3	6.2~9.8	3.4~6.9
双网双膜拱形大棚(标准型) Double-net double-filmarch greenhouse (standard type)	3.2~7.9	4.5~10.1	8.9~14.1
温室大棚(标准型) Greenhouse (standard type)	3.0~7.4	5.6~9.8	8.3~13.0

温、中温、高温分布区域及时期,明确低温预警期和高温预警期的分布及区域,并据此判定安全出菇期与高风险出菇期及其对应区域,进而建立合理的出菇时序。在此基础上,结合香菇不同温型品种不同温度出菇日序图,划分不同区域低、中、高温区域分布,根据低、高温区域分布的时间和大棚调控能力划定香菇出菇区域和时间。综合旬等温线和出菇日序分析制定不同区域、不同设施和温型品种搭配最长出菇时间,划分一年两季和一年一季的出菇区域。

1.7 数据分析

采用 Microsoft Excel 2007 对试验数据进行统计与分析。运用 ArcGIS10.4 软件绘制日序图、旬等温曲线图和周年出菇区划图。

2 结果与分析

2.1 香菇种植分布区域

西峡县香菇种植基地呈南北梯度分布格局,覆盖全县 15 个乡镇。其中,南部乡镇(西坪、重阳、丁河、五里桥、回车、丹水、田关、城关镇)地处低海拔区域,海拔均低于 600 m;北部山区乡镇(寨根、桑坪、米坪、军马河、二郎坪、双龙镇)则呈现明显的垂直地带性分布特征,海拔相对较高。从规模化种植分析,全县共有 4 个乡镇(重阳镇、丁河镇、桑坪镇、米坪镇)的香菇栽培规模突破 1500 万棒,且在南北区域均有布局。

卢氏县香菇种植基地在全县各乡镇均有分布,其空间分布具有显著的海拔梯度特征。全县主要种植区域集中于海拔 600 m 以上的中高海拔,仅城关镇及周边朱阳关、五里川、瓦窑沟等局部区域处于中低海拔区间。从产业规模维度分析,朱阳关、狮子坪、五里川、瓦窑沟、杜关等中高海拔乡镇构成核心产区,其香菇栽培规模均超过 1500 万棒,形成典型的高海拔优势产业带,与西峡县的空间布局形成互补格局。

2.2 不同区域旬平均气温分布特征

对不同区域旬等温线气温特征进行分析,结果如图 1 所示。

在低温特征方面,西峡县 90%区域旬平均温度均 $\geq 0^{\circ}\text{C}$,不同海拔旬平均温度 $< 3^{\circ}\text{C}$ 的持续时长有差异,低海拔地区($< 600\text{ m}$)低温分布于 1 月上旬至 2 月上旬,持续 50 d,温度范围为 $1.4\sim 2.8^{\circ}\text{C}$;中海拔地区($600\sim 1000\text{ m}$)分布于 12 月下旬至 2 月上旬,持续 60 d,温度范围为 $0.5\sim 2.9^{\circ}\text{C}$;高海拔地区($> 1000\text{ m}$)

分布于 12 月下旬至 2 月中旬,持续 70 d,温度范围为 $0\sim 2.6^{\circ}\text{C}$ 。

卢氏县全域旬平均温度 $< 0^{\circ}\text{C}$ 的时段主要分布在 1 月份,持续 30 d,温度范围为 $-0.2\sim 1.2^{\circ}\text{C}$, $0\sim 3^{\circ}\text{C}$ 低温时段低海拔地区($< 600\text{ m}$)分布于 12 月中下旬、1 月中旬和 2 月上旬,持续 30 d,温度范围为 $0.8\sim 2^{\circ}\text{C}$;中海拔地区($600\sim 1000\text{ m}$)分布于 12 月中下旬和 2 月上中旬,持续 40 d,温度范围为 $0.8\sim 2.5^{\circ}\text{C}$;高海拔地区($> 1000\text{ m}$)分布于 12 月和翌年 2 月上中旬,持续 50 d,温度为 $0\sim 1.5^{\circ}\text{C}$ 。

总体而言,卢氏县旬平均温度 $< 3^{\circ}\text{C}$ 的时间开始早、温度低、持续时间长,同海拔条件下卢氏县低温期持续时长较西峡县长 20 d,并且同一时间阶段旬平均温度低 $0.8\sim 1.8^{\circ}\text{C}$ 。从香菇不同品种出菇温度需求和大棚升温能力分析, 0°C 以上区域采取标准棚和简易标准棚,平均温度上升 5°C 以上,完全能够满足低温品种香菇生长发育需求;温室大棚升温能力 $8\sim 10^{\circ}\text{C}$, 0°C 以下区域能够满足香菇出菇及生长发育需求。因此,西峡县地区冬季出菇优势强,中低海拔采用标准棚和简易标准棚能够实现冬季鲜香菇正常供应。而卢氏县 1 月份简易棚出菇难度较大,12 月至翌年 2 月,中低海拔地区采用标准型大棚、低温型香菇品种能够满足出菇需求。

在高温特征方面,西峡县不同海拔旬平均温度 $> 24^{\circ}\text{C}$ 的持续时长有差异,低海拔地区($< 600\text{ m}$)分布在 6 月中旬至 8 月中旬,持续 80 d,温度范围为 $24.2\sim 27.8^{\circ}\text{C}$,最高温度集中在 7 月下旬至 8 月上旬,旬平均温度在 27.0°C 以上;中海拔区域($600\sim 800\text{ m}$)旬平均温度 $> 24^{\circ}\text{C}$ 分布在 7 月上旬至 8 月中旬,持续 50 d,温度范围为 $24.6\sim 25.4^{\circ}\text{C}$,中高海拔区域($800\sim 1000\text{ m}$)分布在 7 月下旬至 8 月上旬,持续 20 d,温度范围为 $24.2\sim 24.6^{\circ}\text{C}$;高海拔地区($> 1000\text{ m}$)未出现旬平均温度 $> 24^{\circ}\text{C}$ 的天气。

卢氏县旬平均温度 $> 24^{\circ}\text{C}$ 的天气,低海拔地区($< 600\text{ m}$)分布在 6 月中旬至 8 月中旬,持续 50 d,温度范围为 $24.5\sim 26^{\circ}\text{C}$,最高温度分布在 7 月下旬,旬平均温度 26°C ;中海拔地区($600\sim 1000\text{ m}$)旬分布在 7 月上旬至 8 月上旬,持续 20 d,温度范围为 $24.5\sim 25^{\circ}\text{C}$;高海拔地区($> 1000\text{ m}$)仅在 7 月下旬出现旬平均温度 $> 24^{\circ}\text{C}$ 的天气。

与卢氏县相比,西峡县低海拔区域内高温持续时间长提前 1 旬,延后 1 旬,且最高气温比卢氏县高 1.8°C 。中海拔($600\sim 800\text{ m}$)区域气温特征与卢氏县低海拔一致,中高海拔 800 m 以上区域高温天

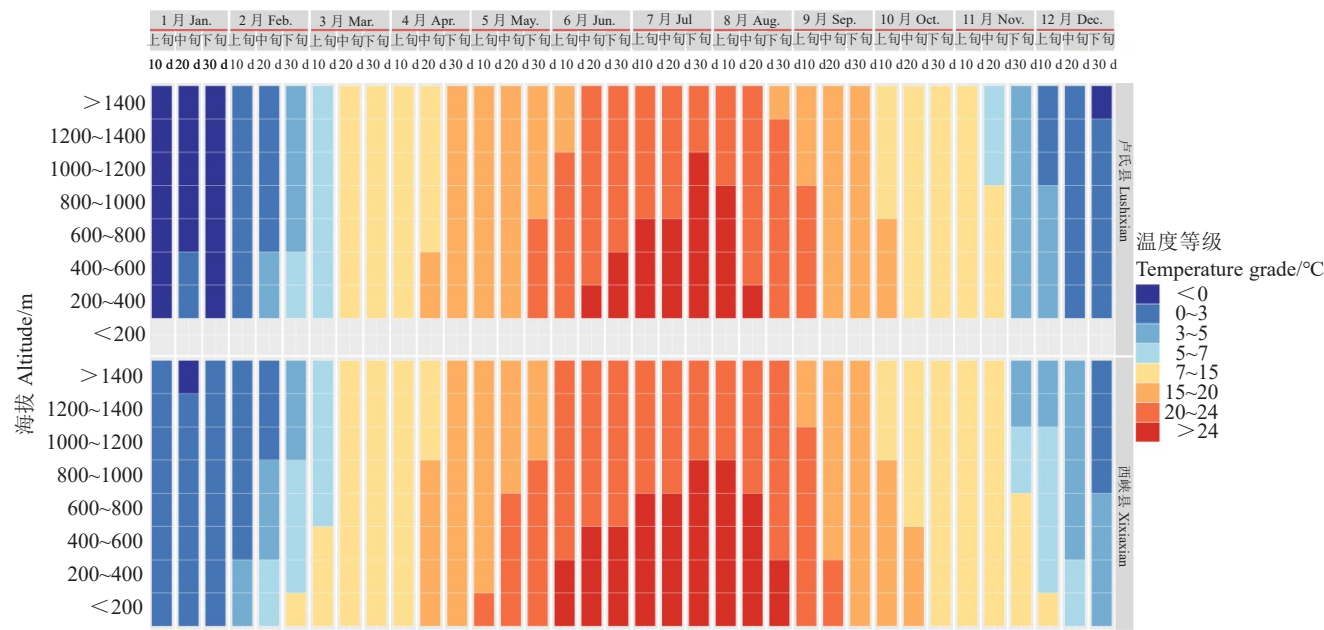


图1 卢氏县和西峡县旬平均温度

Fig. 1 Ten-day average temperature in Lushi county and Xixia county

气温特征与卢氏县中高海拔基本一致,高温时间持续 20 d。高海拔区域两县气温特征基本一致。因此,在高海拔区域采用标准大棚,降温能力> 5 °C,两县均能实现夏季香菇出菇;西峡县的中高海拔和卢氏县的中海拔采用标准棚、搭配广温型和中高温型品种能够出菇。西峡县低海拔夏季高温持续长,出菇难度及风险大,采用高端大棚经济上不可行。卢氏县低海拔区域由于 5 月下旬至 9 月上旬日均温度>20 °C,中高温时间长,缺少温差,不利于香菇生长,因此不建议出菇。

2.3 不同海拔区域日均温度日序特征分析

对 3、7、15、20、24 °C 日均温在两县出现的日序分析发现,西峡县日均气温<3 °C 的起止日期分别为 1 月 1 日至 3 月 20 日、11 月 5 日至 12 月 31 日,共计 135 d,其中低海拔地区 65~75 d,中海拔地区 95~115 d,高海拔 135 d,低海拔分别较中、高海拔

地区少 30~60 d(表 3)。与旬平均温度<3 °C 等温线分布相比,低、中、高海拔分别少 15~55 d。日均温度>24 °C 的起止时间为 6 月 18 日至 8 月 17 日,总计 61 d,其中低、中、高海拔分别为 61、31 和 0 d,高海拔未出现日均温度>24 °C 的天气。日均温度>24 °C 的起止时间与旬平均温度>24 °C 的时间分布上比较,中高海拔和高海拔结果一致,低海拔和 800 m 以下中海拔地区分别约减少 20 d。从温度精确度上分析日均温度更能真实反映这一海拔气温的变化。

卢氏县日均气温<3 °C 的起止日期分别为 1 月 1 日至 3 月 30 日和 11 月 10 日至 12 月 31 日,共计 130 d,其中低海拔 80 d,中海拔 95~105 d,高海拔 130 d,低海拔较中、高海拔分别减少 15~25 d 和 50 d,表明海拔差异对低温的影响较大(表 4)。日均温度>24 °C 的起止时间为 6 月 24 日至 7 月 18

表3 西峡县日均温度起止日序

Table 3 Start and end day sequences of average daily temperature in Xixia county

海拔 Altitude/ m	3 °C 起始日序 Start day sequence of 3 °C	7 °C 起始日序 Start day sequence of 7 °C	15 °C 起始日序 Start day sequence of 15 °C	20 °C 起始日序 Start day sequence of 20 °C	24 °C 起始日序 Start day sequence of 24 °C	24 °C 结束日序 End day sequence of 24 °C	20 °C 结束日序 End day sequence of 20 °C	15 °C 结束日序 End day sequence of 15 °C	7 °C 结束日序 End day sequence of 7 °C	3 °C 结束日序 End day sequence of 3 °C
<400	40(02-09)	80(03-20)	120(04-29)	150(05-29)	170(06-18)	230(08-17)	260(09-16)	280(10-06)	320(11-15)	340(12-05)
400~600	50(02-19)	90(03-30)	130(05-09)	150(05-29)	170(06-18)	220(08-07)	250(09-06)	280(10-06)	320(11-15)	340(12-05)
600~800	60(02-29)	100(04-09)	140(05-19)	160(06-08)	180(06-28)	210(07-28)	240(08-27)	270(09-26)	310(11-50)	330(11-25)
800~1000	70(03-10)	110(04-19)	150(05-29)	170(06-18)	180(06-28)	200(07-18)	230(08-17)	270(09-26)	310(11-50)	320(11-15)
>1000	80(03-20)	120(04-29)	160(06-08)	180(06-28)			220(08-07)	260(09-16)	300(10-26)	310(11-05)

表 4 卢氏县不同日均温度起止日序										
Table 4 Start and end day sequences of different average daily temperatures in Lushi county										
海拔	3℃起始	7℃起始	15℃起始	20℃起始	24℃起始	24℃结束	20℃结束	15℃结束	7℃结束	3℃结束
Altitude/ m	Start day sequence of 3℃	Start day sequence of 7℃	Start day sequence of 15℃	Start day sequence of 20℃	Start day sequence of 24℃	End day sequence of 24℃	End day sequence of 20℃	End day sequence of 15℃	End day sequence of 7℃	End day sequence of 3℃
<400	50(02-19)	80(03-20)	130(05-09)	160(06-08)	176(06-24)	200(07-18)	240(08-27)	280(10-06)	310(11-05)	335(11-30)
400~600	50(02-19)	80(03-20)	130(05-09)	160(06-08)	176(06-24)	200(07-18)	240(08-27)	280(10-06)	310(11-05)	335(11-30)
600~800	60(02-29)	90(03-30)	140(05-19)	160(06-08)	176(06-24)	190(07-08)	230(08-17)	270(09-26)	310(11-05)	330(11-25)
800~1000	70(03-10)	90(03-30)	140(05-19)	170(06-18)			220(08-07)	270(09-26)	300(10-26)	330(11-25)
>1000	80(03-20)	100(04-09)	150(05-29)	170(06-18)			220(08-07)	260(09-16)	300(10-26)	315(11-10)

日,总计 25 d,其中低海拔 25 d,中海拔 15 d,高海拔未出现日均温度>24℃的高温天气。与旬平均温度>24℃等温线结果比较发现,低海拔减少 20 d,中海拔减少 5 d,高海拔减少 10 d。

两县日均气温<3℃的时间比较,西峡县地区较卢氏县地区少 15 d,主要集中在低海拔地区,春季 10 d,冬季 5 d,其他海拔差异不明显,但从旬平均气温<3℃的温度分布看,卢氏县气温明显低于

西峡县,因此卢氏县地区与西峡县地区同海拔条件相比较温度更低、低温时间更长。日均温度>24℃的天气,西峡县较卢氏县多 36 d,高温主要集中在低海拔区域,表明西峡县热量资源较卢氏县丰富。

从图 2 可以看出,以低温型香菇品种出菇温度(3~20℃)为适温阈值,西峡县秋冬季出菇时间从>1000 m 高海拔到<600 m 低海拔起止时间为 8 月上旬至 11 月上旬,海拔高度每降低 200 m,出菇

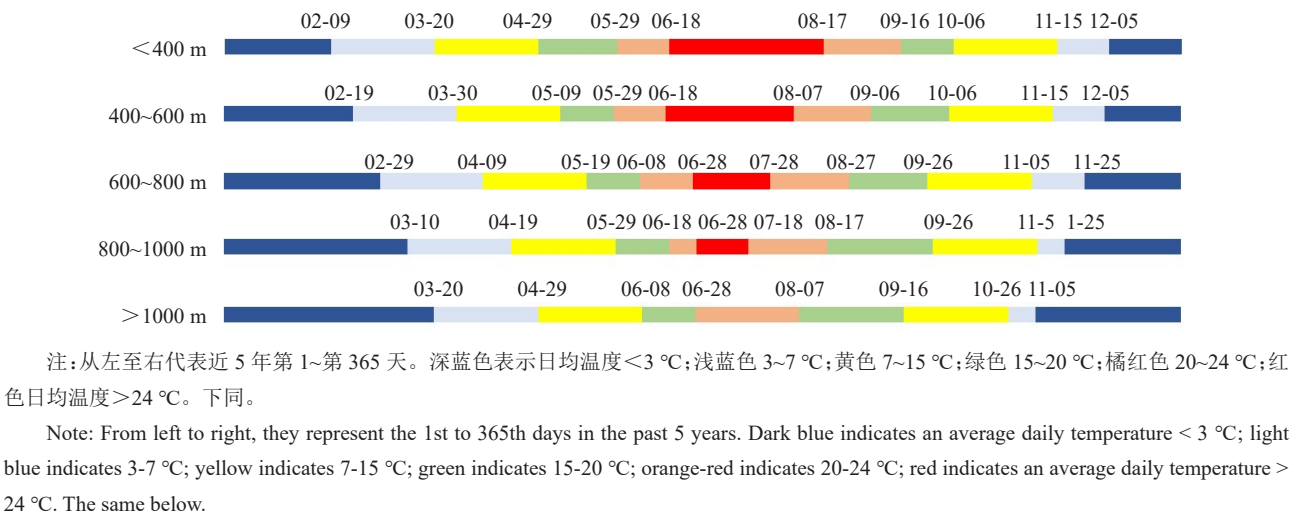


图 2 西峡县近 5 年不同海拔日均温度起止时间

Fig. 2 Start and end times of daily average temperature at different altitudes in Xixia county over the past 5 years

时间推迟 10 d,结束时间延长 10 d,低海拔出菇时间为 9 月中旬至 12 月上旬。春季从低海拔到高海拔的出菇起止时间为 2 月下旬至 5 月下旬,海拔高度每增加 200 m,出菇时间推迟 10 d,结束时间延长 10 d。12 月中旬至 2 月上旬,在旬平均温度<3℃的区域,低海拔地区采用标准化大棚可以正常出菇,6 月上旬至 8 月上旬高海拔地区,在日均温度 20~24℃的区域,采用标准化大棚中温品种可以正常出菇。卢氏县秋季出菇时间,从高海拔到低海拔起止时间分别为 7 月下旬至 11 月上旬,海拔每降

低 200 m,出菇时间推迟 1 旬,结束时间延长 1 旬,低海拔出菇起止时间分别为 8 月下旬至 11 月下旬(图 3)。春季从低海拔到高海拔出菇起止时间分别为 2 月中旬至 6 月上旬,海拔每升高 200 m,开始出菇时间推迟 1 旬,结束时间延长 1 旬;高海拔地区 7 月日均温度、旬平均温度<24℃,采用标准化大棚,广温、中温型品种可以正常出菇;低海拔地区 12 月上旬至 2 月中旬,日均温度、旬平均温度均低于 0℃,采用温室大棚可以满足低温品种出菇需求,由于温室大棚占地面积大,日照时间短,山区很少采

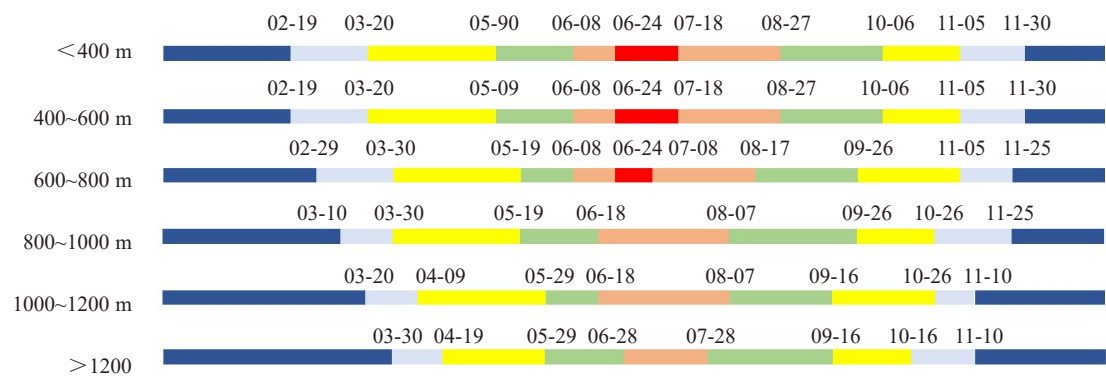


图 3 卢氏县近 5 年不同海拔日均温度起止日序

Fig. 3 Start and end day sequences of daily average temperature at different altitudes in Lushi county over the past 5 years

用。因此两地区秋季出菇时间从高海拔向低海拔过渡,卢氏县较西峡县早 1 旬;春季出菇时间西峡县较卢氏县早 1 旬,从低海拔向高海拔过渡,西峡县低和中低海拔、卢氏县低海拔地区采用标准棚冬季可以正常出菇;夏季两区域高海拔地区均能正常出菇。

2.4 香菇周年出菇区划

按照一年 2 次出菇,鲜香菇周年供应需要出菇时间为 7~8 个月,为 210~240 d;两地区 200 d 以上出菇的区域,采用低温、中温、广温型品种互相搭

配,通过大棚设施调节和出菇时间的布局差异可实现一年四季出菇,较现有的春栽模式一年 3~4 个月的出菇时间延长 1 倍。以广温型香菇品种出菇日均温度 3~24 ℃日序图分析,西峡县出菇最长的海拔分布是 800 m 以上海拔 240 d,其次是<600 m 低海拔地区,225 d;最短的是 800~1000 m 海拔 200 d。卢氏县出菇最长的海拔分布是 600~1000 m,出菇时间 250~255 d;其次是 1000 m 以上地区,220~230 d。

以卢氏县、西峡县 600~1000 m 海拔为例(表 5 和表 6),一年两季出菇安排在秋冬和春夏,秋冬采

表 5 西峡地区周年出菇次序
Table 5 Annual mushroom fruiting sequence in Xixia area

海拔 Altitude/ m	出菇时间 Fruiting time/旬 Ten-days	气温范围(最 低温-最高温) Temperature range(minimum- maximum temperature)/°C	大棚类型 Greenhouse type	棚温范围 (最低温-最高温) Greenhouse temperature range (minimum - maximum temperature)/°C	品种选择 Variety selection
<600	11 月中旬至翌年 5 月上旬 Mid-November to early May (next year)	1.5-20.00	标准型 Standard type	7.5-18.0	低温型、中温型、广温型(冬春) Low-temperature type, medium-temperature type, wide-temperature type (winter and spring)
600~800	9 月下旬至翌年 5 月中旬 Late September to mid-May (next year)	0.5-20.0	标准型、简易	5.0-17.0	低温型、广温偏低型(早秋)
			标准型 Standard type, simple standard type	4.9-18.0	低温型、广温偏低型(早秋) Low-temperature type, wide-temperature low type (early autumn) 中温型、广温偏高型(春季) Medium-temperature type, wide-temperature high type (spring)
800~1000	8 月下旬至翌年 1 月中旬 Late August to mid-January mid-May (next year) 2 月上旬至 6 月中旬 Early February to mid-June	0.5-21.8	标准型、简易	5.0-19.4	低温型、中温型(秋季)
		1.5-22.6	标准型 Standard type, simple standard type	3.5-20.6	低温型、中温型(秋季) Low-temperature type, medium-temperature type (autumn) 广温型、中温型(春季) Wide-temperature type, medium-temperature type (spring)
>1000	2 月上旬至 12 月下旬 Early February to late December	1.0-23.0	标准型、 简易标准型 Standard type, simple standard type		低温型(冬春) Low-temperature type (winter and spring) 中温型、广温型(夏秋) Medium-temperature type, wide-temperature type (summer and autumn)

表 6 卢氏地区周年出菇次序
Table 6 Annual mushroom fruiting sequence in Lushi area

海拔 Altitude/m	出菇时间 Fruiting time/旬 Ten-days	气温范围(最低温-最高温) Temperature range (minimum - maximum temperature)/°C	大棚类型 Greenhouse type	棚温范围(最低温-最高温) Greenhouse temperature range (minimum -maximum temperature)/°C	品种选择 Variety selection
<600	9月中旬至12月下旬; 2月上旬至5月中旬 Mid- September to late Decem-ber; Early February to mid-May	0.8-19.0 3.0-19.2	标准型 Standard type	6.0-17.0	低温型(秋冬) Low- temperature type (autumn and winter) 广温型(春夏) Wide- temperature type (spring and summer)
600~800	9月上旬至12月下旬; 2月下旬至5月下旬 Early September to late Decem-ber; Late February to late May	0.4-20.5 4.5-20.0	标准型、简易 标准型 Standard type, simple standard type	4.9-17.3 3.4-18.5	低温型、广温偏低型(秋冬) Low-temperature type, wide-tempera- ture low type (autumn and winter) 中温型、广温型(春夏) Medium-temperature type, wide-tem- perature type (spring and summer)
800~1000	8月下旬至12月下旬 2月下旬至6月中旬 Late August to late December; Late February to mid-June	0.4-21.0 4.0-21.0	标准型 Standard type	4.9-17.8	低温型、中温型(秋季) Low- temperature type, medium- tem- perature type (autumn) 广温型、中温型(春季) Wide-temperature type, medium-tem- perature type (spring)
>1000	3月中旬至11月中旬 Mid-March to mid-November	7.6-24.0	标准型 Standard type	12.1-21.2	低温型(冬春) Low- temperature type (winter and spring) 中温型、广温型(夏秋) Medium-temperature type, wide-tem- perature type (summer and autumn)

用广温偏低型、中低温型,长、中长菌龄品种,搭配标准型大棚,9月上旬出菇,冬季延长出菇时间至12月底,实现4个月出菇;春季采用广温型、广温偏高型品种,中长、短菌龄品种,2月下旬至6月中旬出菇,出菇时间3个半月。高海拔地区同样选择冬春和夏秋两季出菇,大棚选择简易标准型和标准型两种棚型,春季2月上旬至6月下旬出菇,中低温型香菇品种适宜秋季,选择低温型品种8月下旬至12月下旬出菇。一年两季出菇需要搭配制棒厂,保证菌棒供应。西峡县与卢氏县两季出菇安排相同,秋季出菇时间延后1旬,春季出菇时间提前1旬。其他地区,例如西峡县低海拔区域,低温香菇品种的最佳出菇时间为11月中旬至翌年4月下旬,11月中旬至5月上旬采用标准型大棚可以选择多个类型品种;卢氏县低海拔区域与西峡县中低海拔区域温度类型一致,在采用标准大棚的情况下可以选择两季出菇,采用简易标准型大棚1年满足1次出菇要求。

3 讨论与结论

研究表明,卢氏县与西峡县气候条件呈现明显

的空间互补性:卢氏县低温持续期长、年均气温偏低,而西峡县高温历时久、气温相对较高。这种气候差异为香菇周年化生产提供了天然的温度梯度优势。作为低温型食药食用菌,香菇的子实体分化与发育对温度条件高度敏感。卢氏县中高海拔区域(≥600 m)虽存在长周期低温胁迫,但夏季冷凉气候条件适宜香菇生长,通过配置双网双膜温室、小型连栋大棚等标准化设施,可构建“冬春-夏秋”双季出菇模式;其低海拔区域(<600 m)存在6月下旬至7月上旬的短时高温时段,建议采用简易标准化设施,结合自主养菌技术,实现低温长菌龄品种的安全越夏与冬季高效出菇。西峡县低海拔地区(<600 m)受夏季高温限制明显,但冬季温热气候利于菌丝生长,宜采用“单季秋冬栽培”模式,选用长菌龄低温型或广温型品种,配合双网双膜、小型连栋等温控设施,可维持棚内≥5℃的有效积温,满足香菇生育需求。

伏牛山区中部县域的香菇栽培模式呈现明显的空间梯度响应特征,其品种选择、设施配置及出菇时序与卢氏县、西峡县两县形成空间耦合关系,

印证了基于气候梯度的栽培区划理论的实践可行性。然而,本研究虽然按理论规划了周年出菇方案,但是需要搭配标准化香菇大棚和品种温型丰富的充足菌棒供应,由于双网双膜、小型连栋等标准化大棚建设标准高、配套设施多,投资大,在没有政府补贴等政策支持下,菇农投资存在困难,生产中简易型大棚仍然占据大多数。同时这一部分菇农习惯自己制棒养菌,降低成本。简易大棚养菌时间长达9个月,受不稳定的气温影响较大,菌棒质量无法保证,大棚利用率低,后续应转变菇农思想,购买接种后不同菌龄成品菌棒,改造大棚是周年出菇的关键。集约化制棒效率高,质量稳定是周年出菇菌棒供应的基础,但是大多数制棒厂倾向于选择单一品种,而鲜香菇周年供应需要多个温型品种搭配,因此制棒厂未来依据周年出菇需求选择合适的品种是关键。

本研究结果表明,卢氏县与西峡县的气候差异为香菇周年化生产创造了理想条件。通过科学的海拔梯度布局,可构建“冬春-夏秋”双季出菇与“单季秋冬栽培”相结合的高效生产模式。实现该模式需要3个关键支撑:(1)推广标准化设施以保障生产稳定性;(2)建立多温型菌棒供应体系;(3)完善“集中制棒+分散出菇”的产业协作机制。本研究结果不仅为香菇产业升级提供了重要参考,其基于气候梯度的周年生产理论也可为其他食用菌的区域化布局提供借鉴。未来研究应结合智能温控技术,进一步优化生产方案的时空适配性,同时扩大研究范围以验证模式的普适性。

参考文献

- [1] 孔凡舒,冯玉,陈丽娜,等.香菇柄营养成分、风味物质、功能活性及综合利用研究进展[J/OL].食品工业科技,1-16[2025-12-11].<https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2025020106>.
- [2] 曹斌.“十四五”时期推进我国香菇产业高质量发展的前景和实现路径[J].食用菌学报,2020,27(4):25-34.
- [3] 曹斌,张月吟,高博.全球香菇产业发展历史、现状及趋势[J].食用菌学报,2024,31(3):1-20.
- [4] 张培浩,东强.2003—2023年我国香菇栽培研究文献分析[J].农技服务,2025,42(4):54-57.
- [5] 曹斌.新时代背景下中国香菇消费市场发展特征与趋势[J].食用菌学报,2023,30(3):90-102.
- [6] 苏强军,董玉鹏,周德霞,等.不同养菌环境下香菇生产对比分析[J].食用菌,2025,47(3):49-52.
- [7] 霍捷,高义平.河北省阜平县香菇精细化管理技术要点[J].食用菌,2025,47(3):64-67.
- [8] 崔国梅,路风银,王安建,等.香菇生长条件及新型栽培基质研究进展[J].中国瓜菜,2023,36(1):6-12.
- [9] 徐晓飞,张丙青,罗珍,等.不同产地香菇营养成分的比较研究[J].食用菌,2012,34(2):57-59.
- [10] 裴华.贫困地区食用菌产业发展思考[J].合作经济与科技,2020(9):16-17.
- [11] 董庆栋,陈超男,李艳红,等.基于NPP和人类扰动指数评估河南伏牛山地区国家级自然保护区群保护成效与溢出/泄漏效应[J].生物多样性,2023,31(5):102-113.
- [12] 张树庭,MILES P G,本刊编辑部.关于中国香菇早期栽培的历史记载[J].浙江食用菌,2010,18(5):40-43.
- [13] 胡莉婷,杨光仙,李梦夏,等.河南香菇越夏高温气候特征及其与菌棒坏袋率的关系分析[J].中国瓜菜,2024,37(5):98-106.
- [14] 郭庆.中国气候区划发展研究(1929—1966)[D].合肥:中国科学技术大学,2023.
- [15] 许金萍,蒋晓梅,胡波,等.基于GIS的安吉县茶树栽培农业气候区划研究[J].中国农学通报,2025,41(1):119-125.
- [16] 邵文挥.竺可桢农业气象学贡献研究[D].南京:南京信息工程大学,2024.
- [17] 袁媛,瑚波,雷蕾,等.GIS支持下的商南县小麦生态适宜性评价及种植区划[J].中国农学通报,2017,33(21):7-14.
- [18] 史春彦,张前东,欧阳秋明,等.长清区夏玉米生育气候条件分析及农业区划[J].中国农学通报,2017,33(13):101-106.
- [19] 孔维丽,刘金玲,吴杰,等.香菇品种间菌龄、有效积温、温型差异性分析[J].中国瓜菜,2025,38(4):99-106.