

《香菇生产技术规程》

编制说明

一、工作简况，包括任务来源、制定背景、起草过程等

（一）任务来源

根据农质标函〔2026〕78号农业农村部农产品质量安全监管司“关于下达2026年第二批农业国家和行业标准制修订项目计划的通知”，由上海市农业科学院主持承担《香菇生产技术规程》标准的制定工作。由农业农村部农产品质量安全监管司提出并归口，上海市农业科学院负责起草。本文件规定了香菇栽培过程中，基地条件、菌种选择、培养料及配方、菌棒生产、菌棒培养、出菇模式、出菇管理、病虫害防治、菇棚清理等技术要求，以及生产档案管理要求。

（二）制定背景

香菇素有“国菇”美誉，我国是全球最早认知并人工栽培香菇的国家，人工栽培历史距今已有800余年。近三十年来，我国香菇产业规模化、产业化发展态势迅猛，是我国极具优势的特色农业支柱产业。据中国食用菌协会统计数据显示，2024年全国香菇总产量达1309.28万吨，占全国食用菌总产量的29.62%，产业产值突破千亿元，带动就业人员超千万。目前我国香菇种植区域覆盖全国多省市，是国内种植范围最广、总产量最高、产业带动能力最强的食用菌品类。同时，我国香菇总产量占全球总产量90%以上，稳居世界第一生产大国地位，在全球香菇产业发展中占据核心主导地位。现阶段，我国香菇栽培生产仍以广大农户散户种植为主体，农户栽培是支撑全国香菇产业产能、保障产业规模的核心基础。

伴随产业快速发展，香菇生产模式正加速迭代升级，逐步告别传统粗放式生产模式。传统香菇生产多以散户“一家一棚”小农模式为主，现阶段该模式弊端日益凸显，老产区存在菇农老龄化、生态环保压力大、生产标准不统一等问题，新产区普遍存在从业者技术基础薄弱、管理不规范等短板。在此背景下，“设施化制棒、生态化出菇”的规模化、标准化、高效生态生产模式快速推广普及，逐步替代传统散户生产模式，成为行业主流生产方式。新模式采用“企业集中制棒、农户分户出菇”的分工体系，由龙头企业承担高投入、高风险、高技术集成的菌

棒标准化规模化生产环节，为种植主体提供成熟菌棒，基地农户专注于生态化出菇管理，实现产销分工、优势互补。

当前我国香菇产业虽规模庞大、发展势头良好，但产业主体仍以散户农户种植为主，行业普遍存在种植方式不统一、栽培操作不规范、管理流程随意化等突出问题。多数农户依托传统经验种植，在菌棒养护、刺孔增氧、温湿度管控、出菇管理等关键环节操作标准不一，缺乏统一、科学的技术规范，极易出现栽培管理不当、出菇品质参差不齐、成品良莠不齐、减产损耗等问题，严重制约香菇产业标准化、高质化发展，也限制了产业整体效益提升。因此，立足农户实际种植场景，制定一套科学、规范、简易可落地的香菇完整栽培及出菇管理技术规程，核心目的在于统一散户种植技术标准、规范农户栽培操作行为、纠正传统粗放种植的短板问题，全面提升农户种植水平与香菇产品品质，对推动国内香菇散户种植规范化、标准化升级，实现产业提质增效、助力特色产业持续健康发展具有重要的现实意义与应用价值。

（三）起草过程

本标准在 2026 年农业农村部农产品质量安全监管司下达了 2026 年农业国家标准和行业标准制修订计划后，主要起草单位组建标准起草工作组，并进行标准基本框架和具体技术内容的初步起草研究工作。

2026 年 5 月至 6 月，梳理国内外香菇栽培的最新研究文献、现行技术标准及相关专利成果，系统汇总整合实验室前期香菇出菇栽培试验数据与实操经验。结合前沿技术成果与实测数据，进一步细化、优化标准化实施方案，明确各阶段技术要点与质控要求，同时完善项目组织架构，细化岗位职责与人员分工，保障标准编制工作科学、有序、高效推进。

2026 年 7 月至 2026 年底，编制标准文本草案稿和编制说明，形成征求意见稿。

表 1 主要起草人员信息及任务分工

姓名	工作单位	职务/职称	专业特长及分工
于海龙	上海市农业科学院	研究员	标准统筹
董浩然	上海市农业科学院	助理研究员	试验验证
姜 宁	上海市农业科学院	助理研究员	试验验证
谭 琦	上海市农业科学院	研究员	技术指导

宋春艳	上海市农业科学院	研究员	绿色生产品种选择
李 玉	上海市农业科学院	正高级农艺师	出菇管理
周 峰	上海市农业科学院	正高级农艺师	数据验证
马 林	江苏省农业科学院	研究员	病虫害防控
韩建东	山东省农业科学院	研究员	基质配方
张艳梅	上海市农业科学院	副研究员	标准文本起草
鄂恒超	上海市农业科学院	副研究员	意见汇总
李巧珍	上海市农业科学院	副研究员	菌包绿色生产
尚晓冬	上海市农业科学院	研究员	菌种绿色生产
张美彦	上海市农业科学院	副研究员	菌包绿色生产
翟丹丹	上海市农业科学院	助理研究员	数据整理
刘四海	河南金海生物科技有限公司	总经理	数据验证
郭宏志	山东艾泽福吉生物科技有限公司	董事长	数据验证
冯 鹏	山东御苑生物科技有限公司	董事长	数据验证

二、标准编制原则、主要内容及其确定依据（修订标准时，还包括修订前后技术内容的对比）

（一）标准编制原则

标准编制过程中严格执行《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》（GB/T 1.1-2020）、《标准化工作指南》（GB/T 20000）《标准化编写规则》（GB/T 20001）等有关标准的规定。力求技术内容叙述正确无误，文字表达准确、简明、易懂，标准构成严谨合理，内容编排、层次划分等符合逻辑与规定。坚持科学性、先进性与实用性统一。在标准的名称、技术要求结构和内容、用语等方面与香菇系列标准及相关标准保持一致。形成征求意见稿后广泛征求食用菌栽培环节等领域相关部门专家的意见。

（二）主要内容及其确定依据

本标准规定了香菇(*Lentinula edodes*)生产过程中，基地条件、菌种选择、培养料及配方、菌棒生产、菌棒培养、出菇模式、出菇管理、病虫害防治、菇棚清理等技术要求，以及生产档案管理要求。适用于香菇的生产。

本标准各项核心技术内容，以国内香菇主产区实地调研数据为基础，结合上海市农业科学院多年香菇栽培试验成果综合制定。起草组通过走访河南、河北、辽宁、福建、浙江等核心主产区，系统调研不同栽培模式、不同棚型结构、田间管理方式下的香菇生长表现，汇总一线生产实操数据与技术经验。结合科研试验进一步验证优化，明确香菇菌丝培养、催蕾出菇、子实体生长等各关键生育阶段的温度、湿度、光照、通风量化调控指标，形成适配实际生产的精准管控标准。同时，依托主产区多场景栽培对比调研，结合院内配方试验，优化出适配工厂化周年生产、林下生态栽培、农户大棚种植等不同模式的专用高效基质配方，所有技术条款均贴合香菇生物学特性与主产区生产现状，确保标准技术体系科学严谨、贴合实操、适用性广。

同时，本标准充分吸纳国内多地各类生产主体的实操经验，兼顾规模化工厂生产与散户栽培的差异化场景需求。其中，河南金海生物科技有限公司香菇菌棒规模化生产技术及工厂化周年栽培管理经验，为香菇菌棒配制、高压灭菌、无菌接种、出菇环境精准调控等核心工序提供了标准化实操依据。此外，结合福建、浙江、河南、河北等香菇主产区农户栽培的生产痛点，简化非核心冗余操作，优化农户适配性流程，大幅提升本标准的通用性与基层可推广性。

本标准紧扣当前香菇产业现存短板确定编制重点，针对性解决行业共性难题。香菇栽培易发杂菌污染与病虫害，据此标准严格遵循“预防为主、综合防治”的绿色防控原则，构建完善的病虫害监测预警与综合防控技术体系，明确全程防控流程与规范。针对行业普遍存在的栽培操作不统一、管理不规范、温光水气管控随意导致的产量不稳、品质参差不齐等问题，上海市农业科学院食用菌研究所通过专项对比试验，细化从菌种甄选、菌棒制备、发菌养菌到出菇管理、适时采收的全流程标准化操作规范，明确菌种质量要求、培养基灭菌参数、刺孔增氧、环境调控等关键质控指标。同时，顺应香菇产业规范化、规模化发展趋势，新增生产废弃物无害化处理，完善生产全程档案记录规范，实现生产过程可追溯、质量可管控，有效助力香菇产业提质增效、绿色健康发展。

三、试验验证的分析、综述报告，技术经济论证，预期的经济效益、社会效益和生态效益

（一）试验验证的分析、综合报告

1 培养料及基质配方

香菇的培养料及基质配方，在详实、科学的试验基础上确定了标准的主要技术内容。

果木是我国可利用农林废弃物的的重要组成部分，统计表明每 667 m² 树枝产生量约 250 kg，每年产生的树枝量近 1.8 万吨，这些树枝经回收粉碎后很大一部分可用于香菇栽培。

香菇生产所使用原材料可选择生产区农林生产废弃物、果木枝条等，应根据香菇生长发育对营养和 pH 的需求及地区生产资源进行科学配比，新鲜的阔叶树木屑可粉碎后直接使用，针叶树种的木屑应堆置 6 个月以上，原料质量要求应符合 NY 5099 和 NY/T 119 的规定。推荐配方如下：

表1 推荐配方

配方	组成
配方 1	阔叶树木屑 78%，麦麸 20%，石膏 2%，含水量 50%~58%，pH 值 6~7
配方 2	阔叶树木屑 40%，果树木屑 40%，麦麸 18%，石膏 2%，含水量 50%~58%，pH 值 6~7

其中配方 1 是国内香菇生产最常用配方，配方 2 是团队在实验基础上获得，并经过两年产业应用。

表2 栽培料配方

配方	栎木屑	桃木屑	麸皮	石膏
CK	80	0	18	2
1	60	20	18	2
2	40	40	18	2
3	20	60	18	2
4	0	80	18	2

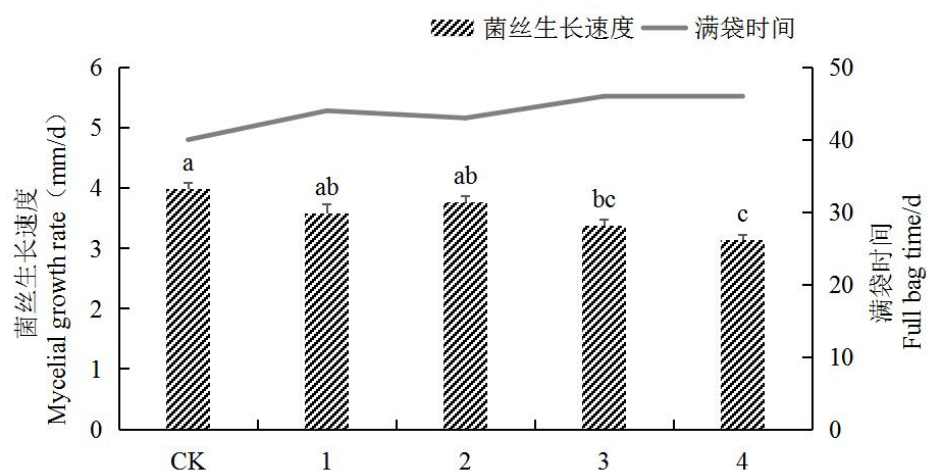


图2 不同配方菌丝生长速度

表3 不同配方产量

配方	一潮产量 (g/棒)	二潮产量 (g/棒)	三潮产量 (g/棒)	总产量 (g/棒)	生物学效率
CK	46.82±7.13 b	487.03±26.17 a	135.53±22.51 a	669.38±26.28 a	74.13%
1	54.35±3.86 b	497.66±32.35 a	132.39±19.97 a	684.40±48.25 a	75.79%
2	103.66±13.7 a	484.43±18.80 a	126.03±11.82 a	714.11±29.53 a	79.08%
3	91.61±6.75 a	484.38±36.90 a	110.28±3.78 a	686.27±37.50 a	76.00%
4	98.74±5.64 a	477.50±73.67 a	109.10±2.56 a	685.34±80.49 a	75.90%

注：数据为平均值±标准差 (n=3)；同列不同小写字母表示差异显著 (p<0.05)

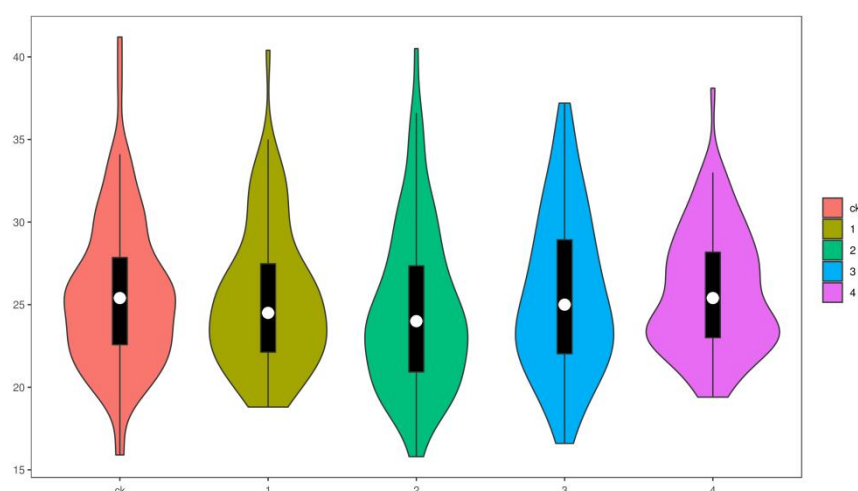


图3 不同配方子实体单菇重分布图

2 刺孔对香菇菌丝生长的影响

香菇 (*Lentinus edodes*) 作为我国产量最大的食用菌品种，因其独特口感而深受大众的喜爱。2024 年，我国香菇总产量达 1400 万 t，接近全国食用菌总产量的 30%。香菇是好氧性真菌，其生长活动需要足够的氧气参与，保证生理代谢的正常进行。在香菇养菌过程中，袋料内氧气逐渐被消耗，CO₂ 浓度上升，菌丝生长受到抑制。生产上通过刺孔增加袋料内 O₂，释放 CO₂，解除抑制。前人研究表明：刺孔后，菌丝蔓延速度加快，菌丝粗壮洁白，菌棒培养周期缩短。

目前，香菇工厂化生产上刺孔方式仍沿用农户生产方式，刺孔分 2 次进行，第 1 次是在相邻接种孔菌丝相连时 进行刺孔，需要注意刺孔位置和深度，防止污染，称之为放小气；第 2 次是菌丝完全满袋进行刺孔，称之为放大气。第 1 次刺孔目前主要由人工完成，往往依据个人经验操作，刺孔数目、深度有所差异，从而影响了菌丝的发育，导致后期养菌过程中管理困难。为此，笔者开展了小刺 数目对香菇菌丝的生长的影响研究，以期为香菇生产标准化提供理论依据。

2.1 材料与方法

2.1.1 香菇菌株及培养料

供试菌株与培养基质：供试香菇菌株‘808’，由上海农科院食用菌所提供。栽培料配方（质量分数）：栎木屑 80%，麸皮 19%，石膏 1%，料含水率 53%~55%，灭菌前 pH 为 6.0~6.2，灭菌后 pH 为 5.5~5.8。

2.1.2 试验设计

试验设 3 个处理，不进行小刺（CK）、在接种孔中心刺 1 个孔，（孔半径为 0.15cm、孔深 2cm）（T1）、距接种孔边缘 2cm 均匀刺 9 个孔，（孔半径为 0.05cm、孔深 2cm）（T2）等 3 个，每处理 3 次重复，每个重复处理 8 袋。待接种孔间菌丝连接时，进行小刺操作。

2.1.3 数据记录及分析

观察记录菌丝生长过程中菌棒中心温度的动态变化、菌棒重量变化、菌丝生长速率、菌丝满袋时间。

2.2 结果分析

2.2.1 小刺数目对香菇菌棒中心温度的影响

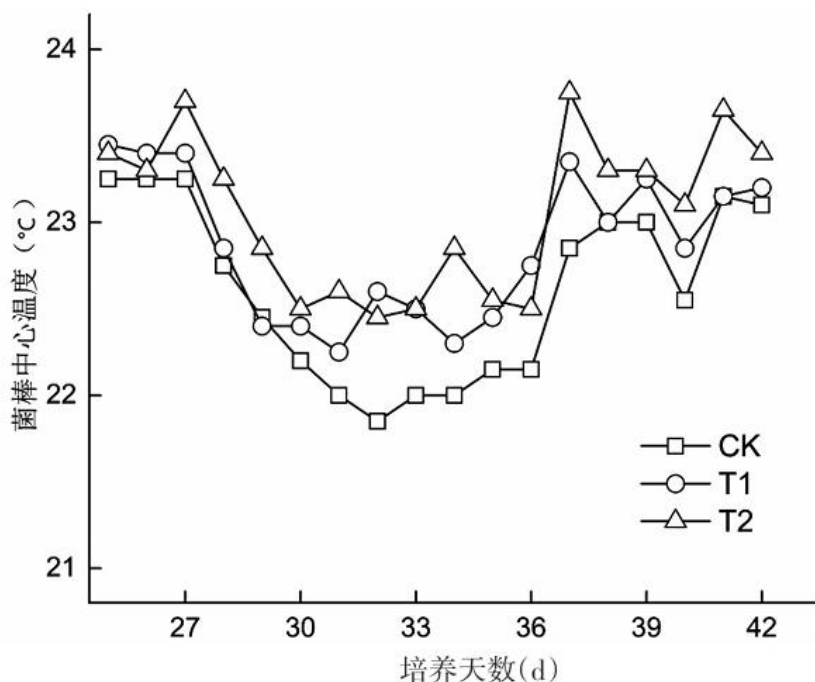


图 1 不同小刺方式下香菇 808 菌棒中心温度变化

菌棒在培养过程中温度并非恒定不变，而是在一个较小范围内波动，呈先下降后上升的趋势。菌棒中心温度始终比培养房温度高 1~2℃。与 CK 比较，T1 与 T2 菌棒中心温度较高，这可能是小刺后菌棒中菌丝呼吸作用加强，产生热量，提高了菌棒中心的温度。

2.2.2 小刺数目对菌丝生长速率的影响

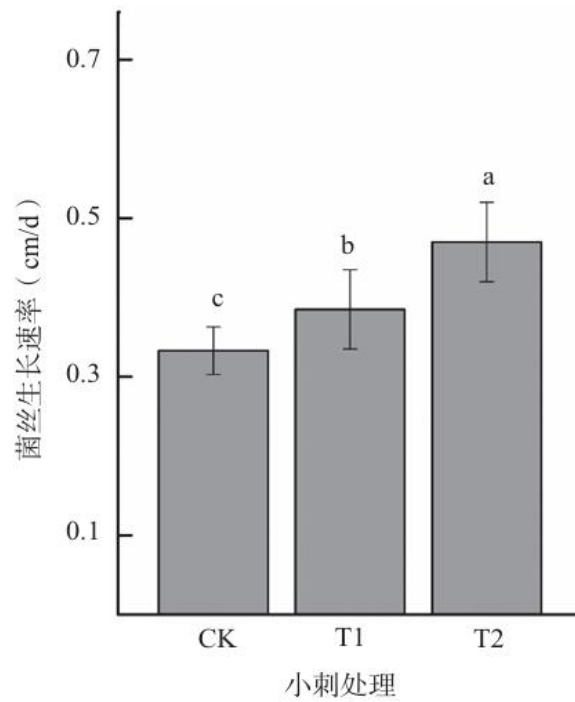


图3 不同小刺方式下香菇808菌丝的生长速度

T2 的菌丝生长素率显著大于 T1、CK，而 T1 的菌丝 生长素率显著快于 CK。CK 处理菌丝生长速率为 $0.33\text{cm}\cdot\text{d}^{-1}$ ，T1 为 $0.39\text{cm}\cdot\text{d}^{-1}$ ，T2 为 $0.47\text{cm}\cdot\text{d}^{-1}$ ，T2 比 T1 提 高 22.1%，比 CK 提高 41.4%，表明小刺能够增快菌丝生长速度。

2.2.3 小刺数目对满袋时间的影响

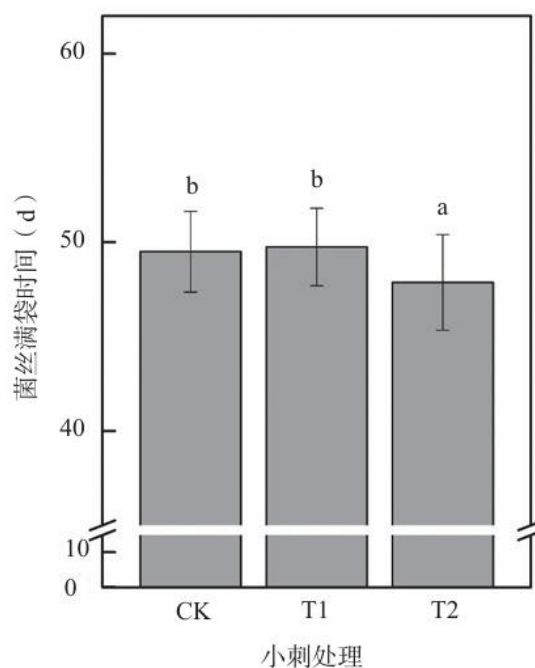


图4 不同小刺方式下香菇808菌丝的满袋时间

T2 的菌丝满袋时间显著缩短，而 T1 与 CK 的菌丝满袋时间无显著性差异。T2 菌丝的满袋时间与 CK、T1 缩短 2 d。

2.3 小结与讨论

本次试验结果表明，T2 菌丝的生长速度显著快于 T1、CK，说明刺孔能够提高菌丝的生长速度，T2 菌丝满袋时间显著少于 T1、CK，而 T1 与 CK 无显著差异，表明 T2 菌棒可以提前进行大刺孔，菌丝后期转色出菇等相应提前，缩短了菌棒培养周期，降低了工厂生产管理成本。菌丝生长发育过程中会产生热量，其菌棒中心温度要比室内温度高出 2~3℃，是香菇菌棒培养过程中一个关键指标，能够反映菌丝代谢旺盛的强弱。由本次试验结果表明，相同的培养环境条件下，刺孔的数目增加，菌包中心温度略有升高，表明刺孔后随着菌包中 CO₂ 的排除，O₂ 作为异养生物，香菇菌丝通过自身相应的酶将木屑中纤维素、半纤维素、木质素降解成为单糖吸收利用，因此，在整个菌棒培养过程中，菌棒质量逐渐下降，在一定程度上可以反映菌丝代谢能力的强弱。本试验中，T2 菌棒质量下降显著高于 T1、CK。表明 T2 处理下，菌丝生长受 CO₂ 的抑制解除，呼吸作用加强，代谢旺盛。菌棒减轻的质量主要是呼吸过程中产生的二氧化碳和水。可见，在菌棒培养过程中，小刺环节对于菌丝的生长发育十分必要。本试验中，T2 处理对菌丝生长发育更为有利。小刺通过改善菌棒内部 CO₂ 与 O₂ 的比例，

解除菌丝受到的抑制，提高菌丝自身代谢同化能力，表现为菌丝生进入，菌丝呼吸作用加强，代谢能力提高。长速度提高，满袋时间缩短。

3 香菇出菇所需光线条件的研究

3.1 材料与方法

3.1.1 材料

3.1.1.1 供试菌株与培养基：供试香菇菌株‘沪香 F2’，保藏于上海市农业科学院食用菌研究所菌种保藏中心。PDA 培养基：马铃薯（去皮）200 g，葡萄糖 20 g，琼脂 20 g，蒸馏水定容至 1 L，121 °C 灭菌 20 min，pH 自然。栽培料配方：86%木屑，13%麸皮，1%碳酸钙（W/W），加水拌匀，含水量 54%~56%，pH 5.8~6.2。

3.1.1.2 主要材料与设备：透光率 0 lux 的遮光布，青岛绿生生物科技有限公司；不同光质的 LED 灯，武汉中利源生物科技有限公司；游标卡尺，北京中科捷瑞生物科技有限公司；NR200 便携式精密色差仪，湖北图索科技有限公司；质构仪，美国 Isenso 智能科技有限公司；栽培床架以及培养室由上海国森生物科技有限公司提供。

3.1.1.3 菌棒制作与培养出菇：采用 15 cm×33 cm（折幅×长度）的聚乙烯塑料袋，使用冲压机装袋，每袋装栽培料(1.0±0.1)kg，121 °C 灭菌 3 h，待菌棒冷却后在无菌条件下进行接种，接种后置于 25 °C 培养室避光培养，当菌丝发满菌棒后对其刺孔增氧，并且给予光照进行转色。待菌棒转色完成，菌丝体完成后熟后，将菌棒内袋脱掉出菇。由于培养过程中菌棒中的水分会不断散失，出菇时应适当补充水分。出菇过程中，培养室温度控制在 15~20 °C，湿度控制在 80%~90%，CO₂ 浓度保持在 500~800 mg/kg。

3.1.2 培养方法

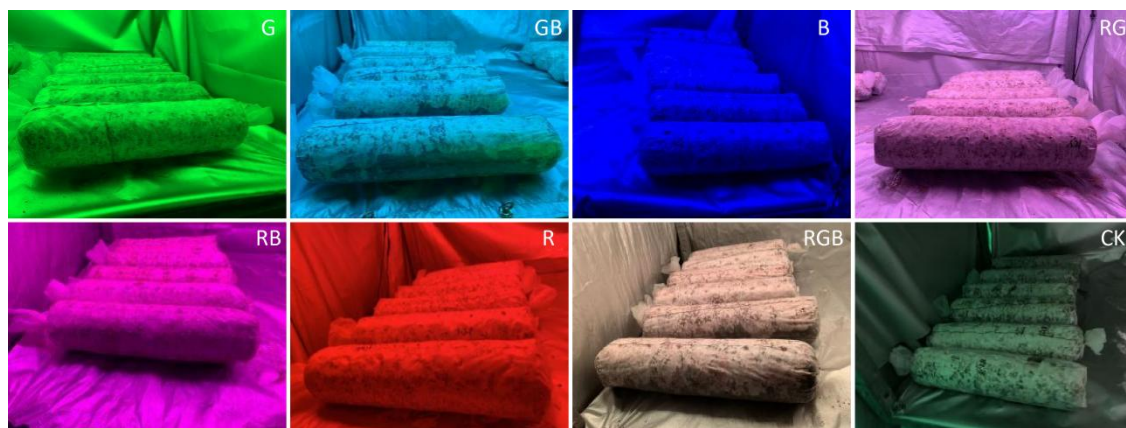


图 4 不同光质光照处理 G、GB、B、RG、RB、R、RGB 分别为绿光、绿蓝光、蓝光、红绿光、

红蓝光、红光、红绿蓝光光照环境下处理，CK 为黑暗环境下处理。下同

试验设置 8 组处理，分别为红光（R）、绿光（G）、蓝光（B）、红绿光（RG）、红蓝光（RB）、绿蓝光（GB）、红绿蓝（RGB）光以及黑暗环境（CK），每组处理准备一个栽培床架，用透光率 0 lux 遮光布从四周将栽培床架围住，在每个栽培床架的上方中部分别安装 2 根不同光质的 LED 灯，调节光源的高度，使光源位于香菇菌棒上方 50 cm 处，光照强度为 600 lux，每天 24 h 照射（图 4）。

分别为将转色后的香菇菌棒置于红光、绿光、蓝光、红绿光、红蓝光、绿蓝光、红绿蓝光 7 种光线下全天照射培养，对照组菌棒在完全黑暗的环境下培养，每组处理 6 个重复。待子实体达到采收标准后进行采收，分别称量统计每个香菇菌棒子实体的蕾数和产量，记录其农艺性状，利用色差仪对子实体菌盖和菌柄的颜色进行测定，使用质构仪测定香菇子实体的质构指标。

3.1.3 香菇子实体农艺性状测定

参考中华人民共和国农业行业标准 NY/T2560-2014，植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南——香菇，对子实体农艺性状进行测定。每个处理随机挑选 10 个香菇子实体，测定不同光质处理的单个菌棒的蕾数和产量、香菇子实体的单菇重量、菌盖重量、菌柄重量、菌盖直径、菌盖厚度、菌柄长度、菌柄直径、菌盖直径与菌柄长度的比值、菌盖直径与菌柄直径的比值。

3.1.4 香菇子实体颜色测定

选取成熟期的香菇子实体，用便携式精密色差仪分别对香菇菌盖和菌柄颜色进行测定，每个处理选取 10 个子实体进行测量，每次测量重复 3 次取平均值得到其 L、a、b 和 c 值。

3.1.5 香菇子实体质构指标测定

采用质构仪（Food Technology Corporation TMS-Pro，USA）检测香菇子实体的硬度（hardness）、粘附度（adhesiveness）、弹性（springiness）、咀嚼性（chewiness）、胶着性（gumminess）和黏聚性（cohesiveness）6 个指标。。质构仪测定模式：质地多面分析（texture profile analysis，TPA），测试参数如下：利用 TA/5 直径 5mm 探头对香菇子实体菌盖顶部进行全质构分析，测前速度 1.00 mm/s，测试速度 2.00 mm/s，测后上行速度 10.00 mm/s，形变量 60%，间隔时间 2.00 s，接触点类型为压力，接触点数值为 10.00 gf。得到香菇子实体的质地参数：硬度、黏附性、弹性、咀嚼性、胶着性、黏聚性。每组处理分别挑取 10 个香菇子实

体菌盖进行测试，每个菌盖测试 1 次，最终结果取平均值。

3.1.6 数据处理及分析

使用 IBM SPSS Statistics 22.0 软件进行差异显著性分析，采用 Duncan 法进行多重比较分析。

3.2 结果与分析

3.2.1 不同光质光照对香菇菌棒蕾数和产量的影响

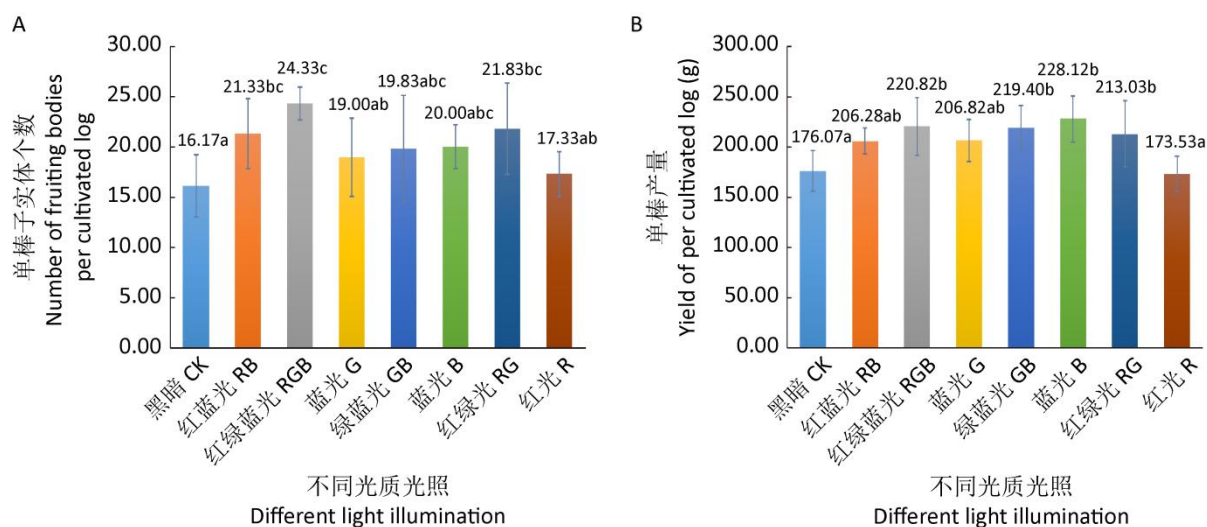


图 5 不同光质光照对香菇子实体蕾数和产量的影响 A：不同光质光照下子实体个数；B：不同光质光照下单棒产量；每组处理数据小写字母完全不同的，表示两组数据差异显著 ($P<0.05$)；有任何相同小写字母表示两组数据差异不显著。下同

不同光质光照条件下，香菇菌棒蕾数和单棒产量见图 5。不同光质光照对香菇菌棒蕾数和产量均有较大的影响，整体而言，随着香菇菌棒蕾数的减少，单棒产量呈现降低的趋势。蓝光（B）照射下单棒产量最高，为 228.12 g，蕾数 20.00 个；其次是红绿蓝光（RGB），单棒产量 220.82 g，蕾数 24.33 个；绿蓝光（GB）处理单棒产量 219.40 g，蕾数 19.83 个；红光（R）和完全黑暗（CK）的条件下，菌棒形成的原基少、菇蕾少、产量低，单棒产量分别为 173.53 g、176.03 g。

3.2.2 不同光质光照对香菇子实体颜色的影响

利用色差仪分别测试香菇子实体菌盖和菌柄的颜色（图 6），“L”表示物体的明亮度，0—100 表示从黑色到白色；“a”代表物体的红绿色，正值表示红色，负值表示绿色；“b”表示物体的黄蓝色，正值表示黄色，负值表示蓝色；“c”表示颜色的饱和度，其值越高彩度越高，其值

越低越接近灰色。

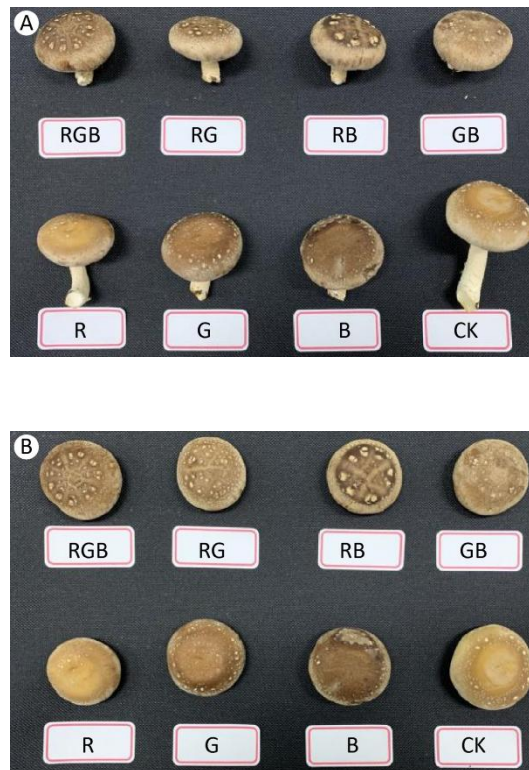


图 6 不同光质光照处理条件下香菇子实体颜色比较 A: 不同光质光照下子实体颜色; B: 不同光质光照下菌盖颜色

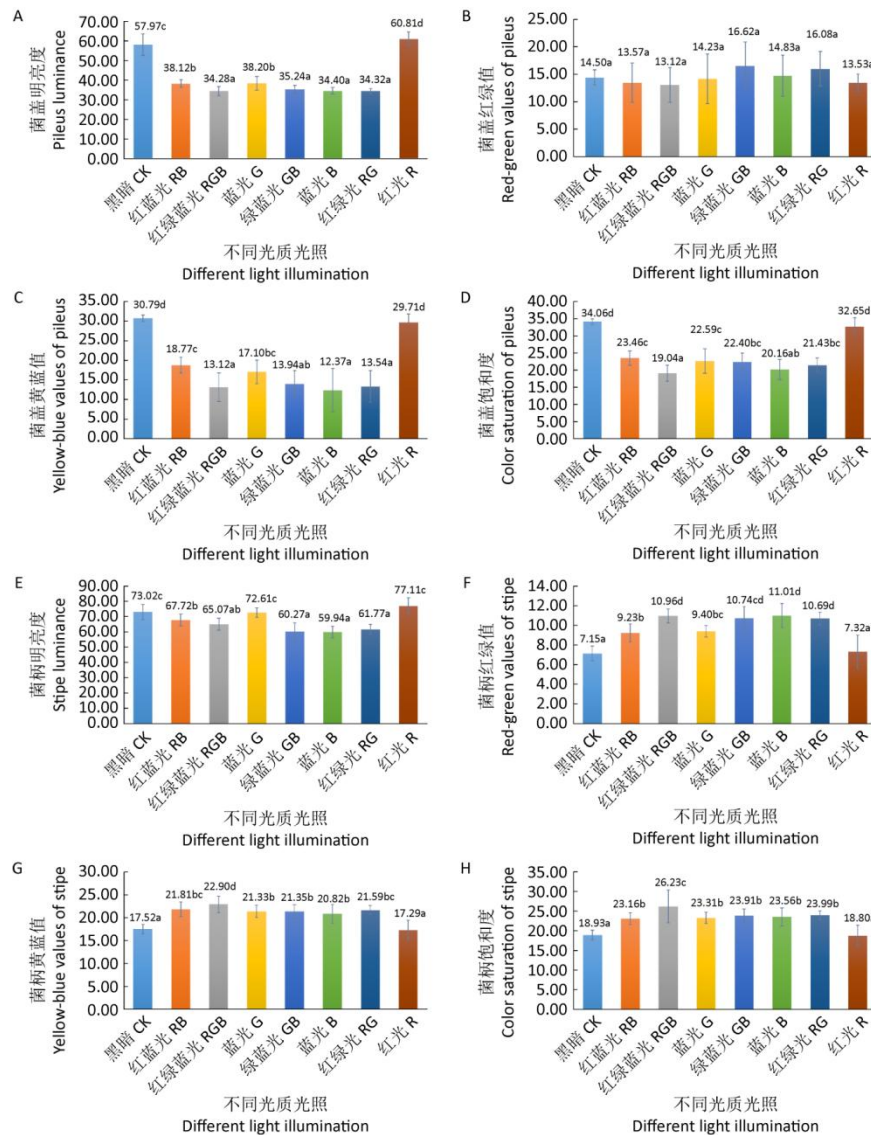


图 7 不同光质光照对香菇子实体颜色的影响 A—D：不同光质光照下香菇菌盖明亮度、红绿值、黄蓝值和色彩饱和度；E—H：不同光质光照下香菇菌柄明亮度、红绿值、黄蓝值和色彩饱和度

红光（R）和黑暗环境（CK）下，香菇子实体菌盖和菌柄相较于其他处理组 L 值高，颜色偏白色，说明红光（R）会诱使子实体颜色变淡变白。不同光质光照下，菌盖的 a 值没有显著差异，b 值都为正值，表明香菇子实体菌盖主要是以黄色为主色；菌盖的 b 值和 c 值在红光（R）和黑暗环境（CK）下较高，表明红光和黑暗处理下菌盖彩度更高，颜色更纯；菌柄的 b、c 值在红绿蓝光（RGB）处理下最高，红光（R）处理下最低（图 7）。

3.2.3 不同光质光照对香菇子实体农艺性状的影响

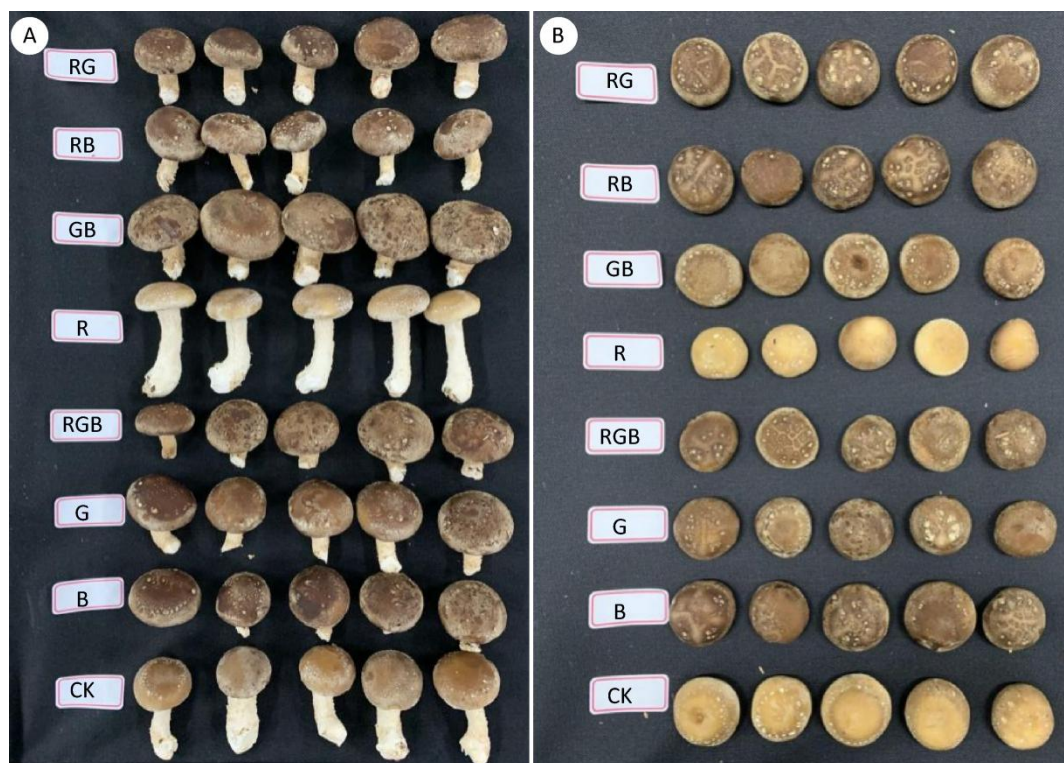


图 8 不同光质光照处理条件下香菇子实体形态比较 A: 不同光质光照下香菇子实体形态; B: 不同光质光照下香菇菌盖形态

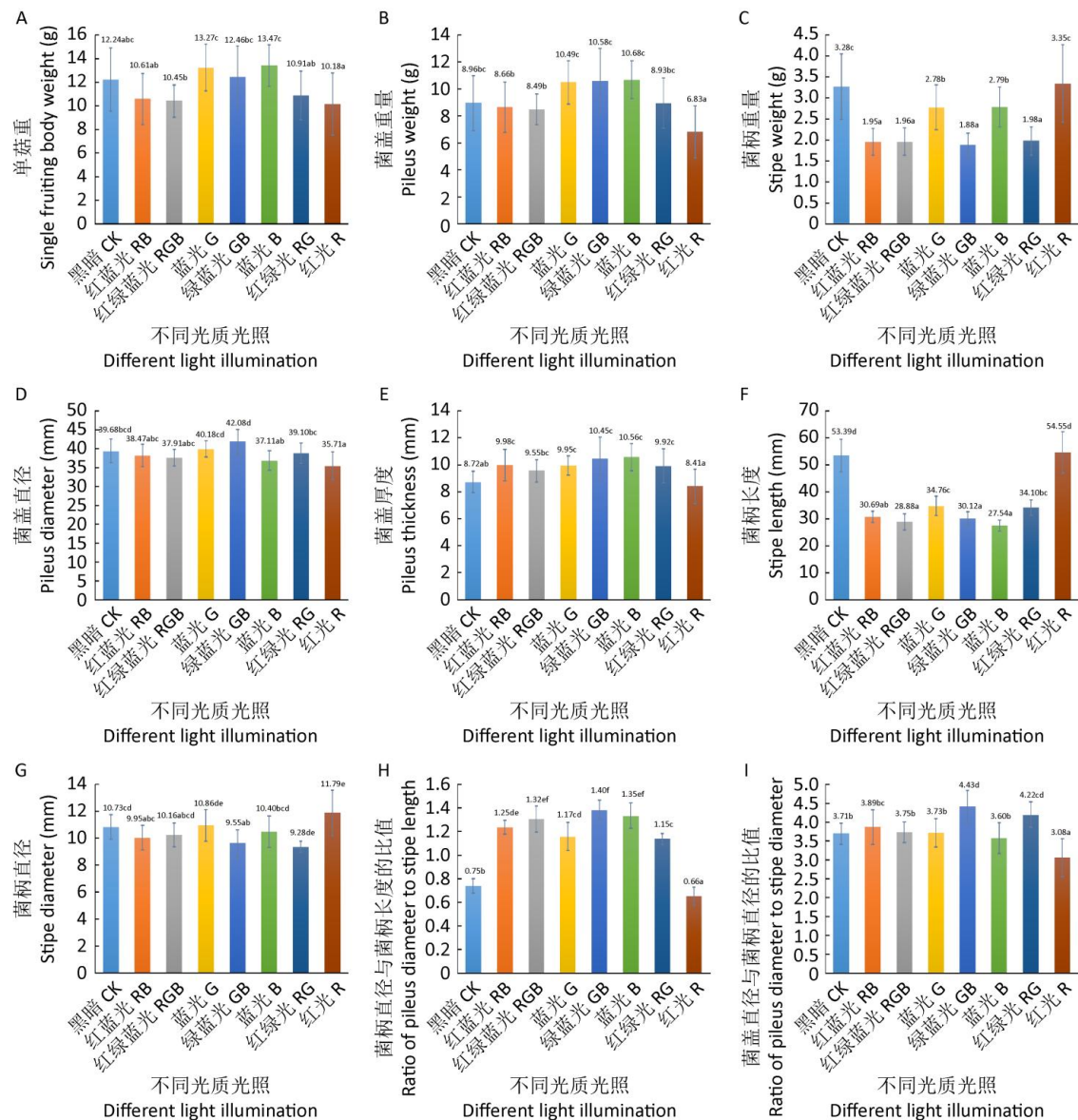


图 9 不同光质光照对香菇子实体农艺性状的影响 A: 不同光质光照下单菇重量; B: 不同光质光照下菌盖重量; C: 不同光质光照下菌柄重量; D: 不同光质光照下菌盖直径; E: 不同光质光照下菌盖厚度; F: 不同光质光照下菌柄长度; G: 不同光质光照下菌柄直径; H: 不同光质光照下菌盖直径与菌柄长度的比值; I: 不同光质光照下菌盖直径与菌柄直径的比值

经过 8 种不同光质光照处理的香菇子实体形态分析结果见图 8、图 9。不同光质光照处理的单菇重量、菌盖重量、菌柄重量、菌柄长度、菌盖直径、菌盖厚度和菌柄直径等农艺性状均存在显著差异 ($P < 0.05$)。蓝光 (B) 和绿光 (G) 处理下香菇子实体单菇重量较大, 分别达到 13.47 g 和 13.27 g, 菌盖重量占整个子实体的比例大, 菌盖直径与菌柄长度的比值大, 菇型适宜, 更受市场的欢迎; 其

次是蓝绿光（GB）和黑暗环境（CK）下，单菇重量均在 12 g 以上。红光（R）和黑暗条件（CK）下菌柄长度较长，分别达到 54.55 mm 和 53.39 mm，菌柄质量较大，菌盖直径与菌柄长度的比值小，表明红光（R）和黑暗环境（CK）能促使香菇子实体菌柄的生长，但菇型较差。综上所述，经蓝光（B）和绿光（G）照射的香菇子实体农艺性状最优。

3.2.4 不同光质光照对香菇子实体品质的影响

香菇子实体质地是衡量其商品性状好坏的重要指标，影响香菇的货架期、品质和食用口感。香菇采摘后呼吸强度提高，容易出现子实体开伞、软化、腐烂等问题，严重影响香菇的食用价值。用质构仪对香菇子实体的硬度、粘附度、弹性、咀嚼性、胶着性和粘聚性进行测量分析，硬度是样品材料抵抗压入其表面的最大力，体现了香菇内部不发生形变时的受力大小，是最直接反应口感的一项指标。粘附度是样品经过加压变形之后，样品表面若有黏性，会产生负向的力量，在食品领域可以解释为黏牙性口感。弹性是食物在第一咬结束与第二口开始之间可以恢复的高度。咀嚼性为胶着性 $\times$ 弹性，可解释为咀嚼固体食物所需的能量，胶着性为硬度 $\times$ 凝聚力。黏聚性为第一压缩与第二压缩正受力面积的比值。

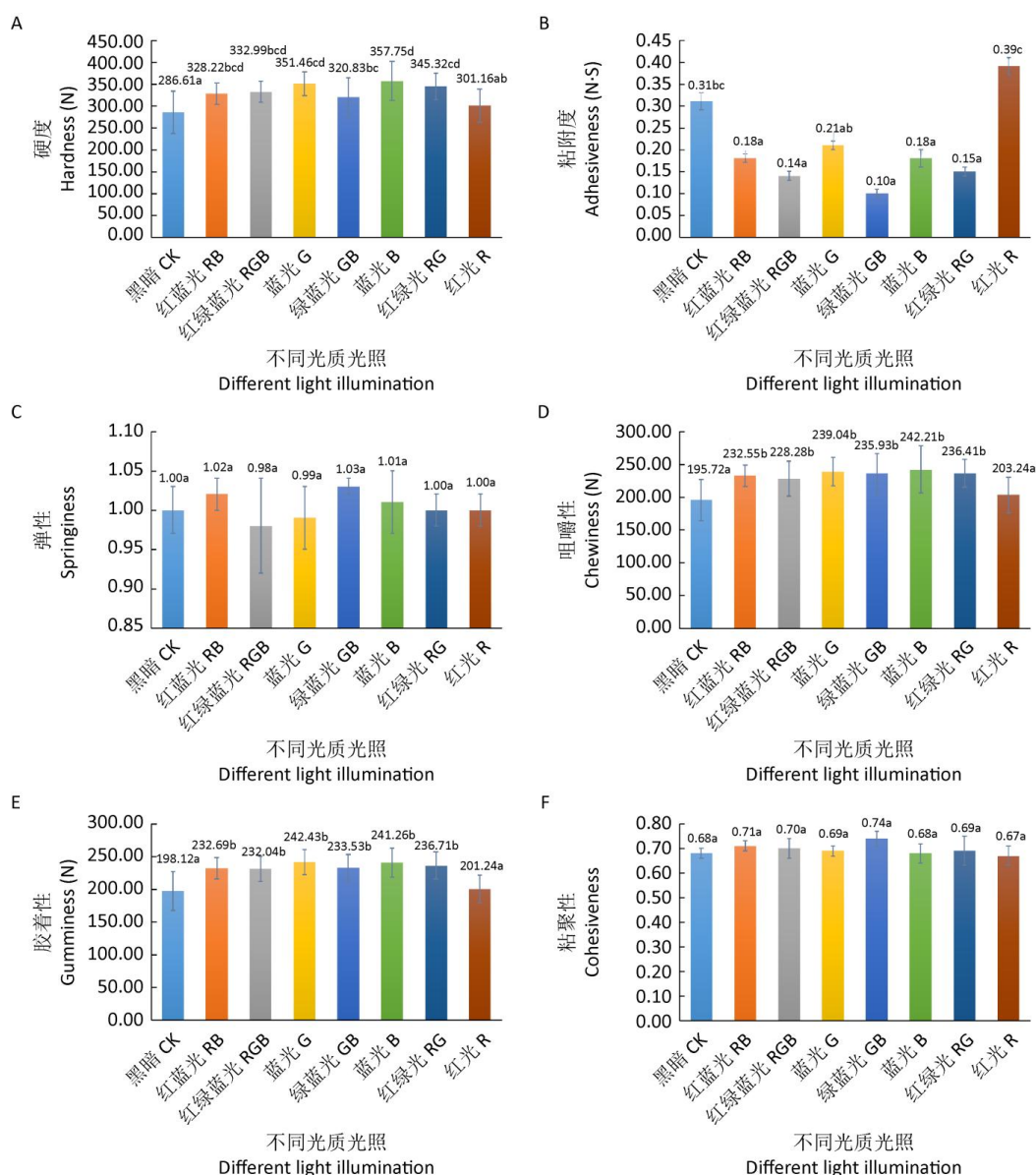


图 10 不同光质光照对香菇子实体品质的影响

A: 不同光质光照下子实体硬度; B: 不同光质光照下子实体粘附度; C: 不同光质光照下子实体弹性; D: 不同光质光照下子实体咀嚼性; E: 不同光质光照下子实体胶着性; F: 不同光质光照下子实体粘聚性

不同光质光照处理组的香菇子实体在硬度、粘附度、咀嚼性和胶着性指标上存在差异,而在弹性和黏聚性方面无明显差异。绿光(G)和蓝光(B)照射下子实体硬度大、耐咀嚼以及胶着性好。红光(R)和黑暗环境(CK)下香菇子实体硬度、咀嚼性和胶着性较其他处理组偏低,粘附度较高,品质不佳。综合各项指标,绿光和蓝光处理下,香菇子实体的品质最佳。

3.3 讨论

本研究选用 LED 灯作为新型半导体光源，其具有光效高、发热低、寿命长等优点，被广泛应用于农业照明系统中，同时 LED 灯也适用于香菇工厂化生产。目前，大部分香菇工厂对出菇环境的调控大多根据自身经验，相关理论的研究较少。光照对于香菇生长的影响的研究主要集中在菌丝生长阶段以及培养转色阶段，然而菌棒转色的好坏会导致出菇的差异，转色完成后的阶段也是至关重要的环节，直接影响香菇的产量和品质。笔者选取了转色完成后，转色状态一致的菌棒作为试验材料，排除菌棒转色不一致对试验的影响，控制不同处理下的温度、水分含量、CO₂ 浓度，探究香菇菌棒完成转色后，不同光质光照对香菇子实体农艺性状与质构品质的影响，通过调控出菇阶段的光照，达到提高子实体农艺性状以及品质的目的。

本研究表明香菇子实体在蓝光照射下，单菇重量最大，这与刺芹侧耳、草菇在蓝光环境下子实体单重较大的结果一致。金针菇在子实体生长阶段使用蓝光照射能提高其产量，与本研究在蓝光处理下，单棒子实体产量最高的结果类似。

香菇菌棒子实体的产量是评价香菇农艺性状优劣重要指标，产量一般与子实体蕾数呈正相关关系，蕾数越多，产量往往越高。但单个菌棒的蕾数并不是越多越好，一般控制在 20~25 个，蕾数太多，会导致子实体的生长受影响，相互挤压，导致畸形，影响其形态及品质，不利于市场销售，因此合适的蕾数是子实体生长的必要条件。本研究发现，黑暗环境下香菇子实体产量最低，说明香菇出菇阶段与菌丝生长阶段不同，需要一定的光照，并且在蓝光照射下，香菇单棒产量最高，蕾数为 20 个，符合工厂化生产的要求。

光质对食用菌子实体形态的形成以及色泽的变化有着非常重要的影响。根据《中华人民共和国农业行业标准》NY/T2560-2014 香菇标准，对香菇子实体的单菇重量、菌盖重量、菌柄重量、菌盖直径、菌盖厚度、菌柄长度、菌柄直径、菌盖直径与菌柄长度的比值、菌盖直径与菌柄直径的比值进行测定分析，参考中华人民共和国农业行业标准——香菇等级规格，结果发现蓝光和绿光条件下，子实体特级和一级比例较高，更能满足消费者的需求，且红光处理下，香菇菌柄较其他处理组长，子实体菌盖颜色淡，其原因可能是光照影响香菇相关酶活性水平及营养代谢情况。

质地是鲜香菇品质及耐储藏能力的主要品质指标。质构仪质地多面分析

(TPA)检测是模拟人牙齿咀嚼食物的机械过程,该过程能够测定探头对试样的压力及其他相关质地参数,目前在食用菌中逐渐成为品质性状的重要指标。本试验通过使用质构仪对不同处理组的子实体进行质地评价,通过具体的数据得出蓝光和绿光照射下香菇品质最佳,避免了以往利用感官评价可能造成的误差,提高了试验的精准性和科学性。

综上所述,香菇菌棒转色完成后,选用红绿蓝光照射可提高菌棒蕾数,选用蓝光照射可提高香菇子实体产量,并且蓝光照射的香菇子实体农艺性状好,质构品质最佳,蓝光作为香菇工厂化生产出菇阶段的首选光质。

4 香菇转色阶段 CO₂ 对香菇产量及品质的研究

通风是食用菌栽培过程中重要的调控手段之一,主要目的在于调节培养房中 CO₂ 的体积分数。研究表明,环境中 CO₂ 体积分数对食用菌菌丝体和子实体生长均有一定的影响。戴肖东等探究 O₂ 和 CO₂ 体积分数对黑木耳菌丝生长及出耳的影响,结果表明 0.2%~3.5%CO₂ 条件可缩短木耳出芽时间,高体积分数的 CO₂ 虽抑制菌丝的生长但对后期耳芽形成无显著影响。仝宗军等探究 CO₂ 体积分数影响金针菇形态发育的机理,揭示了 CO₂ 调控菌盖 FvAC 基因的表达从而影响菌盖的生长。郭家选等研究 CO₂ 体积分数对四种食用菌菌丝生长的影响,结果表明不同食用菌菌丝对 CO₂ 体积分数的需求与耐受存在差异。香菇是我国生产量和消费量最大的食用菌,规模与产能的提升对栽培工艺的标准化、数字化提出了更高的要求。以往技术人员凭经验调节培养房的通风,无相应的数据支撑。培养房 CO₂ 体积分数对香菇产量及品质的影响鲜有报道。为此,笔者进行菌棒转色阶段不同体积分数 CO₂ 条件对香菇子实体产量及品质影响的研究,旨在为香菇工厂化高效生产提供数据支撑。

4.1 材料与方法

4.1.1 供试材料

供试香菇菌株“沪香 F2”,由上海市农业科学院食用菌研究所提供。栽培料配方(质量分数):栎木屑 80%,麸皮 19%,石膏 1%,料含水量 53%~55%,灭菌前 pH 为 6.0~6.2,灭菌后 pH 为 5.5~5.8。仪器:水分测定仪,上海良平仪器仪表有限公司,称量范围 0~50 g,加热范围室温~160℃;pH 计,梅特勒-托利多仪器上海有限公司集团,测定范围 0~14。

4.1.2 试验设计

香菇菌棒刺孔增氧后，分别于 CO₂ 体积分数为 0.2%~0.3%、0.4%~0.5%、0.7%~0.8%，其他条件保持一致的环境中培养，分别记为 CK、T1、T2，菌龄 90d 后脱袋出菇。每个处理设 5 个重复，每个重复 60 棒。

4.1.3 试验方法

4.1.3.1 料袋制备与灭菌接种

采用 17cm×55cm（折径×长度）的聚乙烯塑料袋，自动装袋机装料扎口，每袋装料（湿重）（2.7±0.5）kg，116℃灭菌 6h，灭菌结束后转移至冷却间冷却，待菌棒中心温度冷却至 25℃以下，自动接种机接种香菇液体菌种。

4.1.3.2 菌丝培养及出菇管理

料袋接种后转移至培养房避光培养，当接种孔间菌丝相互连接时脱去外套袋，置于网格架避光培养。菌丝满袋后刺孔增氧，放置于培养房内培养，同时给予光照促转色，90 d 后脱袋出菇。出菇温度为 12~16℃，空气相对湿度为 80%~90%，CO₂ 体积分数为 0.08%~0.1%。每潮菇采收结束，休养 10~15 d（温度 20~25℃）后，注水刺激出下一潮菇。

4.1.4 考察项目及方法

菇蕾：疏蕾数目与子实体数目之和；产量：依据行业标准香菇等级规格（NY/T1061—2006）将子实体分级称重；单菇重：不同等级子实体随机选取 30 个香菇子实体进行单独称重。

4.2 结果与分析

4.2.1 不同体积分数 CO₂ 对菇蕾数的影响

表 1 不同 CO₂ 体积分数条件下菇蕾数

处理	第 1 潮 菇蕾数	第 2 潮 菇蕾数	第 3 潮 菇蕾数	总菇蕾数
CK	49±6.52 a	41±5.17 b	40±5.26 a	130±7.09 a
T1	46±3.96 a	48±4.18 a	39±2.39 a	134±7.78 a
T2	39±7.27 b	53±5.89 a	39±2.77 a	130±10.40 a

注：数据为每个菌棒平均数加标准误差，同列数据后不同小写字母表示差异显著（ $P<0.05$ ）。

不同体积分数的 CO₂ 显著影响第 1 潮及第 2 潮现蕾数，但对第 3 潮现蕾数无显著影响。T2 处理（CO₂ 体积分数为 0.7%~0.8%）的第 1 潮现蕾数显著少于 CK 处理（0.2%~0.3%）及 T1 处理（0.4%~0.5%）。同 CK 处理相比，T2 处理中

菌棒第 1 潮现蕾数下降了 20.41%。第 2 潮现蕾数, T2 处理显著高于 CK 处理(现蕾数增加了 29.27%) 及 T1 处理。三组处理三潮菇总蕾数无显著差异。

4.2.2 不同体积分数 CO₂ 对菇产量的影响

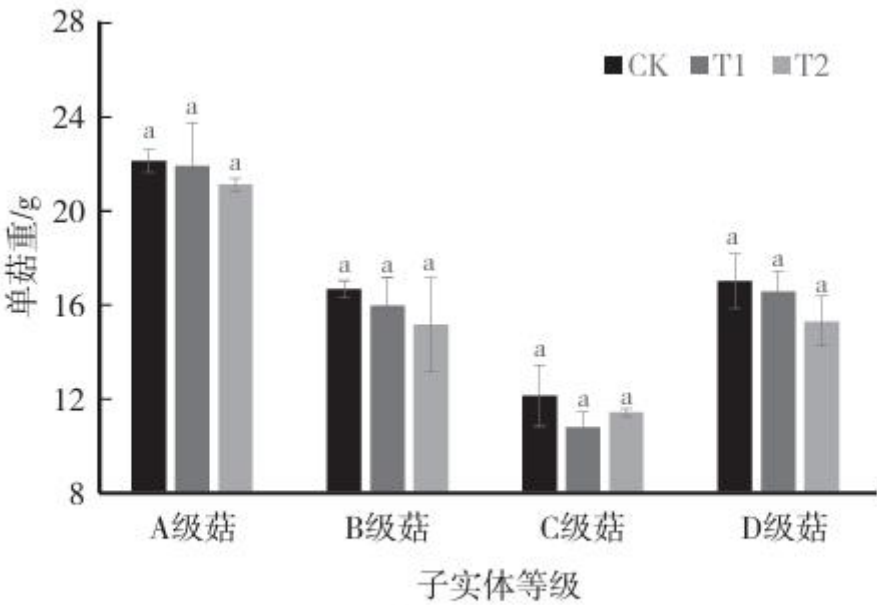
表 2 不同体积分数 CO₂ 条件下香菇产量 单位:g/棒

处理	第 1 潮产量	第 2 潮产量	第 3 潮产量	总产量
CK	321.27±24.99 a	333.23±25.92 b	246.05±20.27 a	900.55±68.32 a
T1	298.23±23.19 b	382.03±29.72 a	228.30±17.76 b	908.57±70.67 a
T2	275.70±21.44 c	387.00±30.10 a	235.60±18.33 b	898.30±69.87 a

注:数据为每个菌棒平均数加标准误差,同列数据后不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

CO₂ 显著影响第 1 潮、第 2 潮以及第 3 潮菇产量,但对总产量无显著影响。T1 处理、T2 处理与 CK 处理比较,第 1 潮产量显著降低,下降幅度分别为 7.17%、14.18%;第 2 潮产量显著上升,上升幅度分别为 14.64%、16.14%;第 3 潮产量显著降低,下降幅度分别为 7.21%、4.25%。CK 处理总产量为 900.55g/棒, T1 处理总产量为 908.57g/棒, T2 处理总产量为 898.30g/棒。表明高体积分数的 CO₂ 会降低第 1 潮、第 3 潮产量,提高第 2 潮产量,但并不影响总产量

4.2.3 不同体积分数 CO₂ 对单菇重的影响



图中小写字母表示同级别菇之间的差异显著性($P<0.05$)

图 1 不同体积分数 CO₂ 对单菇重的影响

不同处理间相同等级香菇单菇重 无显著差异。T1 处理、T2 处理中不同等级的单菇重 同 CK 处理比较略有下降，其中 A 级菇降幅分别为 0.91%、4.52%；B 级菇降幅分别为 4.15%、9.04%；C 级 菇降幅分别为 11.12%、5.97%；平均单菇重的降幅分 别为 2.57%、9.99%。

4.2.4 不同体积分数 CO₂ 对优质菇比的影响

表 3 不同体积分数 CO₂ 条件下优质菇比 单位:%

处理	潮次	A 级菇比	B 级菇比	C 级菇比	菜菇比	统货比
CK	第一潮	31.98	30.12	5.87	6.24	25.79
	第二潮	28.34	32.54	10.95	4.46	23.70
	第三潮	23.41	46.46	5.82	4.45	19.86
	总产中占比	28.29	35.49	7.73	5.09	23.39
T1	第一潮	31.78	30.75	6.30	7.79	23.38
	第二潮	26.13	32.74	12.86	4.15	24.12
	第三潮	18.97	47.95	5.80	2.15	25.14
	总产中占比	26.18	35.91	8.93	4.84	24.13
T2	第一潮	29.27	33.38	7.05	5.77	24.53
	第二潮	24.06	33.65	12.46	5.36	24.47
	第三潮	13.58	48.06	6.51	1.60	30.25
	总产中占比	22.05	37.35	9.24	4.93	26.43

注:分级标准参考香菇等级规格(NY/T 1061-2006)。

高体积分数 CO₂ 会降低 A 级菇比，且随着出菇潮次增加，降幅呈上升趋势，同 CK 处理比较，T1 处理及 T2 处理第 1 潮 A 级菇比分别下降了 0.63%、8.47%；第 2 潮 A 级菇比分别下降了 7.81%、15.11%；第 3 潮 A 级菇比分别下降了 18.99%、41.98%，总的 A 级菇比分别下降了 8.46%、22.05%。高体积分数 CO₂ 提高了 B 级菇比，同 CK 处理比较，T1 处理及 T2 处理第 1 潮 B 级菇比分别上升了 2.08%、10.83%；第 2 潮 B 级菇比分别上升了 0.60%、3.41%；第 3 潮 B 级菇比分别上升了 3.21%、3.45%，总的 B 级菇比分别上升了 1.17%、5.23%。高体积分数 CO₂ 提高了 C 级菇以及统货的比例，总的 C 级菇比分别上升了 15.50%、3.40%，统货比例分别上升了 3.16%、9.54%。

4.3 小结与讨论

CO₂ 是食用菌生长发育的重要调节因子，在实际生产中，通过调节 CO₂ 可控制食用菌菇蕾、产量以及子实体品质等。试验结果表明菇蕾受 CO₂ 影响且在不同

潮次表现不同，同常规体积分数 CO_2 比较，高体积分数 CO_2 可显著抑制第 1 潮菇蕾数发生，显著提高第 2 潮菇蕾数，但对总的菇蕾数无显著影响。这与戴肖东等的研究结果相似，即高体积分数 CO_2 不会影响木耳耳芽形成，但也有研究表明 CO_2 体积分数过高会导致无法形成原基、原基死亡或者畸变，从而使食用菌产量及品质下降。 CO_2 调控香菇菇蕾发生机理还有待进一步研究。菌棒质量是影响香菇产量及品质的重要因子之一。香菇菌棒转色阶段是影响菌棒质量的关键时期，人们总结出一套通过转色完成后表皮颜色判断后期出菇特性的经验，直观表现为四种类型：1.褐色型，出菇迟，出菇稀，菇体大，质量好，产量高，出菇期长；2.红棕色型，出菇正常，稀疏适当，菇体中等，质量好，产量高，出菇期长短适中；3.黄褐色型，出菇稍早，菇较密，菇体小，质量一般，产量较高，出菇期较短；4.灰白色型，出菇早而密，菇体小，畸形菇多，质量差，产量低。培养房通风作为转色过程中重要的调控因子之一，菇农对其认识仍然停留在定性的描述阶段，一致认为，在香菇转色阶段需加大培养房通风，降低 CO_2 体积分数。实际生产中一味的追求低体积分数 CO_2 培养环境会增加生产能耗，且并不符合食用菌生长发育的客观规律。不同生育进程中的食用菌对 CO_2 的敏感程度存在差异，具体为子实体发育阶段>子实体原基形成阶段>菌丝体生长阶段[12]，即表明在菌丝培养阶段，适宜的高体积分数 CO_2 培养是可行的。试验结果表明转色阶段减少培养房通风，提高 CO_2 体积分数对菌棒总产量、单菇重无显著影响，仅造成产量在不同潮次的差异。 CO_2 体积分数为 0.4%~0.5%及 0.7%~0.8%时，第 1 潮产量显著降低，而第 2 潮产量则显著提升。提高培养环境中 CO_2 体积分数会降低 A 级菇比例，提高 B 级菇、C 级菇以及统货比例，且在高体积分数 CO_2 环境下培养的菌棒，随着出菇潮次增加，A 级菇比例急剧下降。综上所述，香菇菌棒转色阶段，提高培养房培养环境中 CO_2 体积分数可降低香菇第 1 潮菇蕾数，减少出菇阶段疏蕾的人工投入；降低了 A 级菇比例，提高了 B 级菇、C 级菇及统货比例。在香菇转色阶段，可适当减少通风，控制培养房 CO_2 体积分数在 0.4%~0.5%，既保证了后期出菇产量及品质又降低了工厂生产能耗。

（二）技术经济论证及预期的经济效益、社会效益和生态效益

本标准内容在河南金海生物科技有限公司、山东御苑生物科技有限公司，山东艾泽福吉生物科技有限公司等国内大型香菇生产企业进行实际应用，在香菇栽

培过程中提供了生产实践验证，有效提高了企业效益。

本标准实施后，可以有效提高香菇生产企业的技术工艺，在成熟菌棒出菇的各个关键环节为企业提供参考，可以减少出菇期菌棒烂棒率，提高鲜菇质量，节约生产成本，最终有效提高香菇生产企业效益。

四、与国际、国外同类标准技术内容的对比情况，或者与测试的国外样品、样机的有关数据对比情况

本标准制定过程中未采用国际、国外标准。经查询，目前还没有与本标准相关的国际、国内行业标准，本标准居国际先进水平。

五、以国际标准为基础的起草情况，以及是否合规引用或者采用国际国外标准，并说明未采用国际标准的原因

无。

六、与有关法律、行政法规及相关标准的关系

本标准与现行法律、法规和强制性标准没有冲突。

七、重大分歧意见的处理经过和依据

本标准在编写过程中无意见分歧情况。

八、涉及专利的有关说明

本标准未涉及相关专利。

九、实施标准的要求，以及组织措施、技术措施、过渡期和实施日期的建议等措施建议

本标准简介明了，可操作性强，对于香菇设施化出菇具有较强的指导性作用，

建议在标准实施后，各级农技推广部门应当向广大香菇生产者推荐应用；实施过程中所发现的问题应该及时反馈给标准起草单位，以便于标准的进一步修订和完善。

十、其他应当说明的事项

本标准中的参数是在实验室小规模试验数据以及企业中大批量试验的基础上，通过征询多家大规模生产企业以及专家后确定的，这些参数具有参考意义。