

# 面向规模化生产的大球盖菇基质制备—装袋—接种—培养工艺装备与顺控流程设计

张浩 常宇航

佳木斯大学 黑龙江佳木斯 154007

DOI:10.32629/ems.v8i3.18744

**[摘要]** 针对大球盖菇林下栽培在基质处理、装袋接种与培养管理环节中工序离散、参数执行依赖经验等问题,围绕“基质制备—装袋—接种—培养”建立模块化工艺装备与顺序控制流程。方法上提取 120℃ 高压灭菌 2 h、14 cm×27 cm 菌袋、菌丝期湿度 60%~70%与通风“每 5 天 30 min”、催菇期微喷灌 2~3 次/日 20 min 等关键判据,据此构建工位互锁、批次追溯与阶段触发的顺控逻辑,并结合对位移动机构图纸给出装袋输送工位的结构化描述。结果显示,该流程可将播种后 10~15 d 补充袋投放、揭膜通风与灌溉等跨天任务组织成可记录的闭环,提升规模化运行的可复现性。结论认为,以工艺参数为中心的顺控设计可为 PLC 化与数字化管理提供明确接口与实施路径。

**[关键词]** 顺序控制; 工艺装备; 高压灭菌; 营养补充袋; 环境调控

## 引言

项目材料显示,大球盖菇培养需经历基质灭菌、外营养添加、林地整理、播种覆膜、菌丝期管理、催菇与采收等连续环节,且对温湿度、通风与物料投放时序有明确要求<sup>[1][2]</sup>。在规模化生产条件下,装袋规格、灭菌批次与田间管理若缺乏统一流程与记录机制,容易造成执行差异与阶段切换不稳定,进而增加杂菌风险并影响出菇一致性。工业自动化领域的 PLC 顺控与 SFC 建模强调“状态—动作—互锁”的流程组织,可显著提升多工位系统的可靠性与可维护性<sup>[4]</sup>;数字化控制研究也表明,结构化流程与数据记录是效率提升的重要基础<sup>[3]</sup>。据此,本文以项目材料中可追溯的参数与现象描述为边界<sup>[1]</sup>,提出面向规模化的模块化装备配置与顺控流程:先提炼参数集与阶段判据,再构建装袋输送与培养管理的互锁触发逻辑,最后基于材料中的阈值与现象完成过程闭环分析。

## 一、相关理论基础与技术选型依据

### 1.1 工序参数集与阶段判据

顺控设计首先需要将工艺知识转化为可执行的参数集。项目材料明确:栽培基质使用前需 120℃ 高压灭菌 2 h<sup>[1]</sup>;营养补充袋采用 14 cm×27 cm 聚乙烯或聚丙烯菌袋,装料扎口后高压灭菌<sup>[1]</sup>;菌丝期空气相对湿度 60%~70%、土壤湿度不低于 50%,并按“每 5 天揭膜通风 30 min”执行<sup>[1]</sup>;催菇期

以菌霜消退、土壤红褐色为阶段特征,微喷灌 2~3 次/日、每次 20 min,空气湿度维持 85%~95%,且“一般一个多月后气温 4.4~16℃ 出现原基”<sup>[1]</sup>。这些阈值与现象共同构成“阶段触发—动作执行—记录确认”的判据集合。

### 1.2 顺序控制与互锁策略

参照 PLC 顺序控制设计法,流程可按“就绪—执行—确认—异常”组织,并以互锁保证关键动作不可越级<sup>[4]</sup>。结合项目的高压灭菌与跨天管理特点<sup>[1]</sup>,本文采用三类互锁:安全互锁(门锁、压力/温度与启动联动);质量互锁(装袋规格/封口与灭菌批次绑定,未确认灭菌不得进入接种/投放);工艺互锁(通风、灌溉、揭膜、补充袋摆放必须满足阶段判据与时间窗,如通风周期与灌溉频次/时长)<sup>[1]</sup>。

### 1.3 模块化装备与控制点选取

依据“基质制备—装袋—接种—培养”主链路,装备划分为基质混拌与灭菌模块、装袋封口与输送对位模块、接种/补充袋生产与投放模块、培养环境调控模块。控制点围绕可闭合变量设置:灭菌温度/时间记录、菌袋规格与封口确认、播种时间戳与补充袋投放窗口、温湿度与灌溉/通风执行记录等<sup>[1]</sup>,以支持后续 PLC 或上位机统一监控。

## 二、工艺装备总体方案与顺控流程设计

### 2.1 基质制备与灭菌流程

项目材料给出基质配方信息:麦粒 50%、玉米芯 45%、麸

皮2%、生石灰2%、石膏粉1%，含水量60%（图1）<sup>[1]</sup>。基质制备段以配比与含水量为约束完成计量混拌，并将批次参数与灭菌记录绑定。灭菌顺控按“装载确认→门锁确认→升温升压→120℃计时2h→降温卸压→放行记录”执行<sup>[1]</sup>，异常超温、超压与开门互锁按设备安全逻辑处理。

小麦	玉米芯	麦麸	生石灰	石膏	含水量
----	-----	----	-----	----	-----

50%	45%	2%	2%	1%	60%
-----	-----	----	----	----	-----

图1 大球盖菇栽培基质配方（来源：项目材料<sup>[1]</sup>）

### 2.2 装袋—封口—输送对位工位

外营养添加以营养补充袋实现：使用14cm×27cm菌袋装料、扎口并高压灭菌<sup>[1]</sup>。装袋工位按“上袋—装料—振实—封口确认”组织节拍，封口完成后进入输送对位。用户提供的对位移动机构图纸包含工作台（1）与直线导向/驱动部件（101、102）（图2），可用于工件在工位间定位移动或对位调节。顺控互锁为：封口未确认禁止输送；对位未确认禁止进入下一工序；卡滞或对位超时触发停机与人工处理状态。

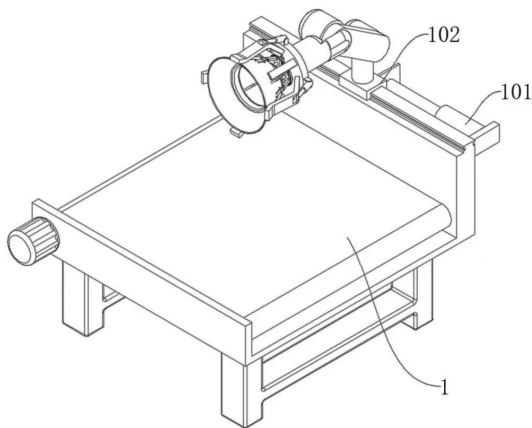


图2 工作台及对位移动机构示意图

### 2.3 培养管理顺控的文字化流程图

培养段以阶段判据驱动跨天任务。菌丝期：设置空气相对湿度60%~70%、土壤湿度≥50%，按每5天揭膜通风30min执行，并同步完成杂菌巡检与记录<sup>[1]</sup>。催菇期：以菌霜消退、土壤红褐色为触发，执行微喷灌2~3次/日、20min/次，并揭膜后覆盖2cm阔叶树落叶，保持空气湿度85%~95%<sup>[1]</sup>。阶

段确认：一般一个多月后在4.4~16℃出现原基，转入出菇期温度管理与虫害防治提醒<sup>[1]</sup>。补充袋投放：每667m<sup>2</sup>1500袋，播种后10~15d摆放，钉板打孔后压实于菌丝层以利菌丝长入<sup>[1]</sup>。



图7 接种

图8 培养



图9 播种一

图10 播种二



图11 大球盖菇鲜菌

图12 采摘

图3 项目实施关键工序现场照片

## 三、过程验证与数据结果分析（基于项目材料）

### 3.1 选址与土壤边界数据

项目材料给出了林地栽培的土壤理化指标区间：容重0.23~0.67g/cm<sup>3</sup>、电导率0.1~1.3mS/cm、pH6.5~7.2、速效磷21.06~76.93mg/kg、速效钾264.02~45.18mg/kg、有机质41.5~149.0g/kg等（图4）<sup>[1]</sup>。这些数据用于限定选址与改良边界，并为顺控中的“石灰施用—翻耕—播种”前置互锁提供依据。

理化性质	数值	理化性质	数值
容重(g·cm <sup>-3</sup> )	0.23~0.67	速效磷/(mg·kg <sup>-1</sup> )	21.06~76.93
总孔隙度(%)	0.23~0.64	有效钾/(mg·kg <sup>-1</sup> )	264.02~45.18
EC值/(mS·cm <sup>-1</sup> )	0.1~1.3	有机质/(g·kg <sup>-1</sup> )	41.5~149.0
pH	6.5~7.2		

图4 林地栽培关键土壤理化指标区间

### 3.2 工艺实施的闭环证据

播种环节按项目给出的时间与温度条件执行：10月下旬

至12月上旬,当最高气温低于24℃且土壤温度在22℃以下播种,播种量为150~200 kg/667 m<sup>2</sup><sup>[1]</sup>。菌丝期按湿度阈值与通风周期执行,同时以“观察杂菌并石灰覆盖处理”的现场处置作为异常处理证据<sup>[1]</sup>。催菇期以土壤颜色与菌霜变化为触发,配合微喷灌频次/时长与空气湿度范围,并以原基出现时间尺度(一般一个多月后)与温度区间(4.4~16℃)作为阶段到位现象<sup>[1]</sup>。上述指标与现象构成“设置一指标—现象—结论”的闭环:当阈值满足且现象出现时,阶段切换具有可观测、可记录与可复现的特征。

### 3.3 采收判据与节拍约束

项目材料指出从播种到采收约4个月,菌盖凹坑充分伸展且脉络清晰时应及时采收,采收适宜长度为7至9 cm<sup>[1]</sup>。该判据为规模化采收的节拍与人员/设备调度提供了统一标准,可与鲜菇/干菇等级划分条件联动,形成采后分级的输入约束<sup>[1]</sup>。

## 四、与同类自动化方案对比及优势

### 4.1 与典型分拣/控制系统方法的对比

与基于顺序控制设计法分拣机械手程序相比<sup>[4]</sup>,本文同样采用“状态—动作—互锁”组织流程,但控制对象从离散物料转为“生物工艺阶段+环境阈值”,需要同时处理湿度、温度等连续量与阶段状态的耦合。与数字化分拣系统强调分层调度与数据记录的思想一致<sup>[3]</sup>,本文将播种时间戳、补充袋投放窗口与通风/灌溉执行记录纳入统一顺控,使跨天任务具备可追溯性。

### 4.2 模块化与可扩展性的优势

项目给出补充袋投放量与时间窗(1500袋/667 m<sup>2</sup>、播种后10~15 d)<sup>[1]</sup>,通过将补充袋生产/灭菌与田间投放拆分为独立模块,可在扩种时以增加装袋与灭菌能力支撑面积扩展,而不改变培养管理模块的逻辑。培养段以阈值与现象触发任务,便于后续按棚区或畦区扩展传感器与执行器,实现分区控制与运维诊断。

### 4.3 风险点流程化管理

杂菌与虫害是项目材料明确提示的风险点:菌丝期需观察杂菌并可石灰覆盖处理,出菇期补充袋容易滋生害虫需及时防治<sup>[1]</sup>。将巡检与处置写入顺控后,可通过“任务提醒—

记录—异常升级”降低遗漏概率,并与前置准备步骤(如石灰施用、翻耕、覆膜拱棚)形成互锁,提升规模化运行的可控性。

## 结论

本文基于《大球盖菇产业新模式》项目材料,面向规模化生产提出大球盖菇基质制备—装袋—接种—培养的模块化工艺装备与顺控流程。以120℃高压灭菌2 h、14 cm×27 cm菌袋、菌丝期湿度60%~70%与通风周期、催菇期微喷灌与湿度范围、补充袋投放窗口与投放量、采收长度7至9 cm等为核心判据<sup>[1]</sup>,构建工位互锁、批次追溯与阶段触发的控制逻辑,并结合对位移动机构给出装袋输送工位的结构化描述。受限于材料未提供装袋节拍与批次统计,本文未展开产能与能耗的量化评估;后续可在不改变工艺阈值的前提下补充节拍与运行记录统计,进一步完善PLC化与数字化监控实现路径。

## [参考文献]

- [1] 刘海桃. 基于数字化控制的快递分拣与识别系统研究[J]. 冶金设备管理与维修, 2025, 43(5): 62-64.
  - [2] 孙言军, 咸梦蝶. 基于顺序控制设计法分拣机械手PLC程序设计[J]. 设计与分析, 2025(21): 47-50.
  - [3] 任越美, 李垒, 张军锋, 等. 融合改进YOLOv11与动态分拣策略的食品自动化分拣系统研究[J]. 食品与机械, 2025, 41(9).
  - [4] 陈默, 赵利洁, 赵素阳. 智能果蔬分拣机器人系统设计[J]. 自动化与控制, 2025: 191-194.
  - [5] 关利民, 洪洋. 一种高效的物料分拣控制系统设计[J]. 2025.
  - [6] 陈金阳. 基于数字孪生技术的S7-1500PLC自动分拣机控制系统设计[J]. 2025.
  - [7] 陈斌, 冯雨顺, 李鸣, 等. 基于动态仿真的分拣机行李系统分析及优化[J]. 2025.
- 基金项目: 2024年黑龙江省大学生创新训练计划项目;  
项目名称: 大球盖菇产业新模式;  
项目编号: 202410222151S.