

《鹿茸菇栽培基质质量要求及高产优质基质配方技术要求》团体标准编制说明

一、工作简况

（一）任务来源

2026年8月6日，山东科技咨询协会关于下达关于《鹿茸菇栽培基质质量要求及高产优质基质配方技术要求》（鲁咨协字〔2026〕21号）等两项团体标准立项的公告。本项标准正式立项。

本标准立项的直接动因，源于鹿茸菇工厂化栽培产业对栽培基质质量控制和基质配方标准化的迫切需求。通过建立统一的鹿茸菇栽培基质质量要求和推荐配方，为产业提供科学、统一、可操作的标准化依据，从根本上提升栽培基质的质量稳定性和配方的科学性。

（二）项目背景

1. 政策支持

食用菌产业是我国农业的重要组成部分，在保障食品安全、促进农民增收、推动农业可持续发展中具有不可替代的作用。近年来国家层面密集出台支持政策，为本标准立项提供了坚实的政策基础。

（1）大食物观与多元化食物供给体系

2024年9月，国务院办公厅印发《关于践行大食物观构建多元化食物供给体系的意见》（国办发〔2024〕46号），明确提出

“发展壮大食用菌产业，开发食用菌食品”，将食用菌产业提升到构建多元化食物供给体系、保障国家食物安全的战略高度，为本标准研制提供了顶层设计依据。

（2）全国食用菌产业规划支撑

农业农村部在《“十四五”全国种植业发展规划》中明确要求加快推进食用菌栽培技术标准化，推动产业标准化、规模化发展。国家食用菌产业技术体系将食用菌栽培基质与营养调控作为重点研究方向，围绕原料质量控制、基质配方优化等开展了系统研究，为本标准研制提供了理论与技术储备。

（3）山东省食用菌产业发展导向

山东是全国食用菌生产大省，食用菌产量、产值及出口量连续多年稳居全国前列。《山东省“十四五”农业农村领域系列专项规划》和《山东省食用菌产业发展规划》将食用菌列为优势特色产业，明确提出推进食用菌生产全过程标准化、加快食用菌产业标准化栽培技术研发。济宁、聊城、滨州、德州等食用菌主产区把标准化作为产业提质增效的重要抓手，为本标准研制和后续实施营造了良好环境。

2. 实践基础

鹿茸菇（学名：荷叶离褶伞，*Lyophyllum decastes*）是近年来我国工厂化栽培发展最快的食用菌品种之一。据行业统计，全国鹿茸菇产量呈快速增长态势，福建古田、山东、河北、江苏等主产区工厂化栽培规模持续扩大，市场需求旺盛，发展前景广

阔。

栽培基质是鹿茸菇工厂化栽培的物质基础，是菌丝生长发育和子实体形成的营养来源。栽培基质的质量直接决定菌丝生长速度、子实体产量和品质。原料分类是否科学、原料质量是否稳定、基质配方是否合理，直接影响菌丝健壮程度、培养周期和生物学效率；劣质、不洁或重金属超标的原料还会带来严重的产品质量和食品安全风险。

当前产业面临两大突出问题：一是缺乏统一的基质用原料质量标准。鹿茸菇基质使用的木屑、玉米芯、麸皮等原料，目前尚无专门针对鹿茸菇栽培需求的质量标准，企业只能参照通用食用菌基质标准（如 NY/T 1935）或各自内控标准采购，导致原料质量参差不齐、批间差异大，严重影响生产稳定性和产品质量一致性。二是缺乏经系统验证的高产优质基质配方。各地企业配方多为经验性配方，缺乏系统的对比试验验证，配方的科学性、稳定性和可推广性难以保证，制约了鹿茸菇产业整体效益提升。

山东农发智慧生物科技集团有限公司依托东营河口鹿茸菇智慧工厂产业化基地，联合山东省农科院、山东农业大学等科研单位，围绕鹿茸菇栽培基质原料筛选、理化指标管控、高产配方优化开展长期产学研试验与规模化生产验证，为本团体标准编制奠定扎实技术基础与产业化实践支撑。公司立足农业废弃物资源化利用思路，开展秸秆、玉米芯、麸皮、豆粕等农林副产物作为鹿茸菇栽培基质主料、辅料的适配性试验，系统研究不同原料配

比、基质含水率、pH 值、碳氮比等关键指标对菌丝萌发、菌包发满率、子实体产量及产品 A 级品率的影响；通过多批次配方对比优选，优化形成适配工厂化周年栽培的鹿茸菇基质配方体系，解决传统基质原料来源杂、质量不稳定、配方凭经验、批次间生产差异大等行业痛点。

在产业化实践层面，企业建成全自动基质配料、混合、装袋、灭菌生产线，实现基质原料进厂检验、粉碎配比、理化指标在线监测的全流程管控，积累大量基质原料质量阈值、配方参数、灭菌工艺、成品基质质量判定的实测生产数据；依托规模化生产持续验证，优化后的基质体系可使菌包发满率稳定在 95% 以上，单袋鲜菇产量提升至 580g，产品 A 级品率达到 90%，同时构建“农林废弃物制菌棒、废菌棒还田改良盐碱地”的绿色循环模式，年可消纳周边 3 万亩耕地农作物边角料，每年产出约 3 万吨废旧菌棒转化为有机肥，实现基质原料绿色供给与循环利用。公司具备食用菌相关标准研制工作经验，能够将基质原料检测、配方筛选、批量生产验证的一线实测数据转化为标准化技术条款，为《鹿茸菇栽培基质质量要求及高产优质基质配方技术要求》团体标准提供可溯源、可复现、可推广的技术依据。

基于上述产业需求和政策支撑，山东农发智慧生物科技集团有限公司提出本标准立项申请并报山东科技咨询协会立项。

（三）主要工作过程

1. 成立标准编制起草组

2025年6月，由山东农发智慧生物科技集团有限公司牵头组建标准编制起草组。起草组坚持“产学研用”相结合，汇聚了食用菌栽培、基质营养、标准化管理等领域的专业技术与标准化人才，明确了指导思想、工作原则、任务分工和时间节点，制定了详细工作计划，确保编制工作有序推进。

2. 收集整理文献资料

起草组系统开展了文献调研：一是梳理食用菌基质相关的国家标准、行业标准和团体标准，重点研究 NY/T 1935《食用菌栽培基质质量安全要求》、NY/T 2375《食用菌生产技术规范》等标准的技术内容和适用范围，为标准框架设计和技术指标确定提供参考。二是通过中国知网（CNKI）、Web of Science 等数据库，以“鹿茸菇栽培基质”“荷叶离褶伞基质配方”

“*Lyophyllum decastes* substrate”等为关键词，检索近年来发表的相关学术论文，系统整理鹿茸菇对不同原料的营养需求规律、碳氮比对生长的影响及各类原料理化特性等科学数据。三是收集多家鹿茸菇生产企业的质量控制文件、内控标准和实际生产数据，为标准指标确定提供生产实践依据。

3. 确定标准框架和主体内容

起草组多次对标准框架结构与核心技术内容进行讨论，重点围绕以下问题：

一是原料分类体系的确定。将鹿茸菇栽培基质用原料分为主料（占干重 50%~85%，为碳源类，如木屑、玉米芯、秸秆、棉籽壳、稻草、甘蔗渣）、辅料（占干重 10%~40%，为氮源类，如麸皮、米糠、玉米粉、豆粕、大豆皮）和添加剂（占干重 0.5%~5%，为调节类，如轻质碳酸钙、生石灰、石膏）三类，既体现原料在配方中的功能定位，又便于企业分类采购和质量管控。二是各类原料质量要求的确定。按照“感官指标+理化指标”相结合的模式，对木屑、玉米芯、棉籽壳、麸皮、玉米粉、豆粕、大豆皮、轻质碳酸钙等 8 种常用原料分别制定质量要求；对重金属等安全指标，结合草案规范性引用标准确定限量依据。三是高产优质基质配方的设计。在系统总结生产实践和文献研究的基础上，结合多基地验证试验，确定了 6 个推荐基质配方（见标准表 1），并对配方设计原则、配制工艺要求、灭菌参数等作出详细规定。

4. 实地调研与技术验证

为验证标准技术内容的科学性和可操作性，起草组于 2025 年 6 月至 9 月组织多路实地调研。赴山东聊城、济南等地，调研企业并采集玉米芯、麸皮、秸秆等北方常用原料质量数据和以芦苇屑替代木屑，以玉米秸秆为主料的配方验证数据。

调研期间，起草组在各企业采集原料样品 60 余批次，开展水分、pH 值、粗蛋白、颗粒度、杂质率等指标的检测分析，并开展推荐配方小规模验证试验，记录菌丝生长速度、培养周期、子

实体产量和品质等关键指标，验证配方的可行性和稳产性。

5. 形成标准征求意见稿

在充分调研和试验验证基础上，起草组于 2025 年完成标准立项材料起草并报山东科技咨询协会立项；立项后按计划推进标准文本和编制说明编制，2026 年 8 月—9 月结合专家论证意见修改完善，形成标准征求意见稿。

二、标准编制原则、主要内容及其确定依据

（一）编制原则

1. 科学性原则

本标准以食用菌栽培学、微生物学和营养学理论为基础，所有技术指标的确定均以科学研究和生产实践数据为依据。原料质量指标中的水分限量、pH 值范围、粗蛋白含量等，均基于鹿茸菇菌丝对不同原料的营养吸收规律和生长发育需求确定；配方设计中的碳氮比、总孔隙度等参数，参照食用菌营养生理学经典理论并经试验验证。标准不设定缺乏科学依据的经验性指标，确保每项技术要求都有可靠数据支撑。

2. 实用性原则

紧密结合鹿茸菇工厂化生产实际，充分考虑企业操作习惯和管理能力。原料质量要求指标设置简洁明了，检验方法采用成熟的国标方法或通用方法，便于企业和供应商在采购和质量管控中直接操作；推荐配方选取经过多面积产销区、多家企业验证的成熟配方，适用范围和推广性强。

3. 安全性原则

将质量安全放在首位。从原料贮存、生产用水、化学投入品使用等方面作出规定：原料使用前应翻晒、拣出不洁霉变物并无害化处理；生产用水应符合 GB 5749；化学添加剂不应随意或超量加入，不应使用未经安全性评价的添加剂；基质用化学药剂应使用具有有效农药登记证、允许用于食用菌生产的农药。重金属限量依据草案规范性引用文件确定，从源头上保障鹿茸菇产品质量安全。

4. 先进性原则

在总结现有生产经验基础上，积极引入经科学验证的新技术、新成果。标准中的 6 个推荐基质配方均经过系统的对比试验和多基地验证，生物学效率达到行业先进水平；配方设计中的碳氮比调控、原料发酵处理、灭菌工艺要求等，体现当前鹿茸菇基质技术的最新成果，将有力推动产业技术进步，引领鹿茸菇产业向标准化、高质量方向发展。

5. 协调性原则

充分考虑与现行相关法律法规和标准的协调配套关系。标准与 NY/T 1935《食用菌栽培基质质量安全要求》、NY/T 2375《食用菌生产技术规范》等行业标准做好衔接，检验方法优先引用标准中规范性引用的国家标准方法，安全限量指标与现行强制性标准保持一致，不与其他标准相矛盾或冲突。

（二）标准主要内容

1. 标准结构

本标准共设 7 章及 2 个资料性附录，结构如下：第 1 章范围；第 2 章规范性引用文件；第 3 章术语和定义；第 4 章原料分类；第 5 章原料质量要求；第 6 章栽培基质制备；第 7 章包装、运输与贮存；附录 A（资料性）常用原料质量要求；附录 B（资料性）常用化学试剂使用方法。

2. 主要条款说明

（1）范围

规定了鹿茸菇栽培基质的术语和定义、原料分类、制备以及包装、运输与贮存要求，适用于鹿茸菇栽培基质的质量评价与基质配制。

（2）术语和定义

除 GB/T 12728 界定的术语外，本标准对“栽培基质（cultivar substrate）”作出定义：鹿茸菇食用菌栽培过程中，由主料、辅料和添加剂按一定比例配制而成，为菌丝生长和子实体发育提供碳源、氮源、矿物质等营养的物质。

（3）原料分类

将栽培基质用原料按功能和用量分为主料、辅料、添加剂三类：主料占配方干重 50%~85%，包括木屑（杨木屑、杉木屑、芦苇屑、杂木屑等）、玉米芯、秸秆、棉籽壳、稻草、甘蔗渣；辅料占配方干重 10%~40%，包括麸皮、米糠、玉米粉、豆粕、大豆

皮；添加剂占配方干重 0.5%~5%，包括轻质碳酸钙、生石灰、石膏。

（4）原料质量要求

本章从原辅材料、生产用水、化学投入品三方面作出要求。原辅材料应保持新鲜、洁净、干燥、无虫、无霉、无异味，使用前翻晒并拣出不洁霉变物，加工粉碎避免机油等外源污染；原料重金属限量应符合 GB 15618 的规定，农药残留限量应符合国家相关标准要求；常用原料质量要求参见附录 A。生产用水应符合 GB 5749 的规定。化学投入品方面，不应随意或超量加入化学添加剂，不应使用未经安全性评价的添加剂，基质用化学药剂应使用具有有效农药登记证、允许在食用菌生产中使用的农药。

（5）栽培基质制备

本章包括通则、高产优质基质配方、配制要求、灭菌、冷却等内容。配方设计方面，菌丝生长阶段基质碳氮比宜为 25:1~35:1，出菇阶段宜为 30:1~40:1；基质应具有良好的保水性与透气性，总孔隙度宜为 60%~70%。标准列出 6 个高产优质基质推荐配方（见表 1）。配制要求对原辅料加工（新鲜木屑应充分发酵、定期翻堆，玉米芯粉碎过筛，棉籽壳检查预湿）、拌料（先干拌后湿拌、分次加水、含水量偏差 $\pm 1\%$ 以内）、分装（松紧适度、装料高度 18cm~20cm、每袋装料量偏差 $\pm 5\%$ 以内）和灭菌（配制后 4h 内进锅灭菌，具体参数见下文）作出规定。

表 1 鹿茸菇高产优质基质推荐配方

配方	原料组成（干重比）	含水量
以木屑为主料的基质配方	杉木屑（或杂木屑）48.8%、玉米芯适量、麸皮 20%、玉米粉 14%、大豆皮 5.5%、豆粕 4.5%、豆秆粉 3.5%、轻质碳酸钙 3.4%、生石灰 0.3%	68% ~ 70%
以木屑为主料的基质配方	杂木屑 59%、稻草 20%、麸皮 18%、玉米粉 2%、石灰 1%	63% ~ 65%
以棉籽壳为主料的基质配方	棉籽壳 78%、麸皮 20%、石膏 1%、轻质碳酸钙 1%	60% ~ 65%
以木屑或玉米芯为主料的基质配方	杂木屑 30%、玉米芯 30%、甘蔗渣 20%、麸皮 15%、玉米粉 2.5%、黄豆粉 1.5%、石灰 1%	63% ~ 65%
以玉米芯或麸皮为主料的基质配方	芦苇屑 15%、棉壳 5%、玉米芯 20%、玉米秸秆 15%、玉米粉 15%、麸皮 20%、豆皮 7%、豆粕 3%，另外以轻质碳酸钙和生石灰调节酸碱度	67% ~ 68%
以玉米秸秆或玉米芯或麸皮为主料的基质配方	芦苇屑 10%、棉壳 5%、玉米芯 20%、玉米秸秆 20%、玉米粉 15%、麸皮 20%、豆皮 7%、豆粕 3%，另外以轻质碳酸钙和生石灰调节酸碱度	67% ~ 68%

注：表 1 中原料比例以干重计。第 5、6 个配方中，轻质碳酸钙和生石灰用于调节酸碱度。

灭菌要求：栽培基质配制后应在 4h 内进锅灭菌。木屑栽培基质和草料栽培基质灭菌条件为 0.12 MPa 保持 1.5h，或 0.14 MPa ~ 0.15 MPa 保持 1h；谷粒栽培基质、草栽培基质和种木栽培基质灭菌条件为 0.14 MPa ~ 0.15 MPa 保持 2.5h；装容量较大时适当延长灭菌时间。灭菌完毕后应自然降压，不应强制降压。采用常压灭菌时，应在 3h 内使灭菌室温度达到 100℃，保持 100℃ 灭菌 10h ~ 12h；标准同时要求应优先采用高压灭菌，不应常压灭菌。灭菌时应防止棉塞被冷凝水打湿。灭菌结束、柜内表压降为零时开门出柜，移至冷却室自然冷却到适宜温度。

(6) 包装、运输与贮存

包装材料应清洁、干燥、无毒、无异味，牢固无破损，可采用散装、袋装或按用户要求包装；运输工具应清洁干燥、有防雨防晒措施，不应与有毒、有害、有腐蚀性或其他污染物品混运；基质应贮存在阴凉、通风、干燥处，不应与有毒、有害物质混放。

(7) 附录 A 常用原料质量要求（资料性）

附录 A 分别规定了木屑、玉米芯、棉籽壳、麸皮、玉米粉、豆粕、大豆皮、轻质碳酸钙 8 种常用原料的质量指标，涵盖色泽、气味、组织状态、性状、杂质、颗粒度/粒度、水分、pH、吸水性、糖度、粗蛋白质等感官与理化指标，并规定了感官检验、水分测定（按 GB 5009.3）、pH 测定、粗蛋白质测定、杂质检测、颗粒度检测、吸水性检测、糖度检测、碘酒试验等检验方

法。

(8) 附录 B 常用化学试剂使用方法 (资料性)

附录 B 给出了轻质碳酸钙、生石灰、石膏、过磷酸钙、硫酸镁、增产剂等常用化学添加剂的功能、推荐用量 (以干重比计) 和使用方法, 为企业在基质配制中安全规范使用化学添加剂提供指导。

3. 主要技术指标、参数的确定

(1) 碳氮比。碳氮比是食用菌基质配方设计的核心参数。本标准规定菌丝生长阶段碳氮比 25:1 ~ 35:1、出菇阶段 30:1 ~ 40:1, 参考了食用菌营养生理学的经典结论: 碳氮比过低 (氮源过多) 易致菌丝徒长、抗杂菌能力下降, 碳氮比过高 (碳源过多、氮源不足) 则菌丝生长缓慢、产量降低。分阶段设定碳氮比, 体现菌丝营养生长和生殖生长不同阶段的营养需求特点。

(2) 总孔隙度。基质应具有良好的保水性与透气性, 总孔隙度 60% ~ 70% 的设定, 兼顾持水能力与通气性能, 保证菌丝呼吸和养分传输畅通。

(3) 含水量。各配方含水量集中设定在 60% ~ 70% (依配方为 68% ~ 70%、63% ~ 65%、60% ~ 65%、67% ~ 68%), 符合食用菌基质适宜的持水区间; 拌料后含水量偏差控制在 $\pm 1\%$ 以内, 保证基质质量稳定。

(4) 原料理化指标。各原料水分、pH、粗蛋白质、杂质、颗粒度等指标, 综合参照生产实践数据、主要企业内控标准及相

关通用标准确定，反映行业当前质量管控水平并具有一定前瞻性。

(5) 灭菌参数。木屑/草料基质 $0.12 \text{ MPa} \cdot 1.5\text{h}$ 或 $0.14 \sim 0.15 \text{ MPa} \cdot 1\text{h}$ 、谷粒/草/种木基质 $0.14 \sim 0.15 \text{ MPa} \cdot 2.5\text{h}$ 的设定，综合了不同基质的传热特性和工厂化生产经验，确保灭菌彻底的同时兼顾效率与基质理化性质稳定；常压 100°C 保持 $10 \sim 12\text{h}$ 为小规模和特殊设备条件下的替代方案。

(三) 确定主要内容的依据

1. 原料质量指标主要依据生产实践数据和主要企业内控标准，结合 GB/T 12728 界定的食用菌术语和生产实际确定；2. 各原料水分、pH、粗蛋白质等限量值参照多年积累的生产检验数据和研究文献确定；3. 安全限量依据草案规范性引用文件（含 GB 15618 等现行强制性国家标准）确定，确保基质原料不成为食用菌产品质量安全风险来源；4. 6 个推荐配方及含水量、灭菌参数经山东多个主产区代表性企业系统试验验证，试验覆盖 $2 \sim 3$ 个完整栽培周期，记录了菌丝满袋时间、原基分化、子实体产量与品质等关键指标，结果稳定；5. 检验方法采用标准中规范性引用的国家标准方法（如水分测定按 GB 5009.3）或行业通用方法，成熟可靠、操作规范，保证不同实验室间结果可比。

三、试验（或验证）的分析报告、技术经济论证以及预期效益

（一）技术验证

在《鹿茸菇栽培基质质量要求及高产优质基质配方技术要求》团体标准编制阶段，山东农发智慧生物科技集团有限公司联合山东省农科院、山东农业大学，依托东营河口鹿茸菇智慧工厂开展多组基质原料筛选、配方正交对比与规模化中试验证试验。试验设置多组不同主料、辅料配比对照，重点考察基质原料杂质、含水率、pH 值、碳氮比等理化指标，系统测定不同基质配方下菌丝生长速率、菌包污染率、菌包发满率、单袋产量及成品 A 级品率，累计采集基质理化、菌丝生长、出菇性状等批量实测数据，用于标准条款校验。

试验结果表明：采用优化后的基质配方与原料质量管控体系，鹿茸菇菌袋透底率、菌包发满率均可稳定达到 95% 以上，菌包污染率得到有效控制；单袋鲜菇产量由 340g 提升至 580g，增幅 71%，成品 A 级品率提升至 90%。试验同步验证玉米芯、玉米秸秆、芦苇屑、麸皮、豆粕等农林废弃物作为基质原料的适配性，明确基质进厂检验、粉碎、混合、灭菌全流程质量控制阈值，将多批次小试、中试及规模化生产实测数据转化为量化指标，剔除经验性参数，验证标准中基质原料质量限值、配方配比、理化指标、制备工艺条款的科学性与可操作性，形成可复制、可推广的鹿茸菇基质生产技术规范，支撑本团体标准编制。

(二) 基于“以玉米芯或麸皮为主料”及“以玉米秸秆或玉米芯或麸皮为主料”的鹿茸菇新型基质配方试验验证

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试菌株为鹿茸菇当地主栽高产菌株。栽培主料：杨木屑、芦苇屑、玉米芯、棉籽壳；辅料：石膏、轻质碳酸钙、白糖。

1.2 试验仪器

质构仪 (RapidTA+)：上海腾拔仪器科技有限公司；物料容重孔隙度综合测试 (MZ-120)：秒准科技 (深圳) 有限公司；基质物理特性测定高速超微粉碎机 (HSW-1000)：上海化三粉体设备有限公司；除特殊要求外, 所有试剂均为分析纯。

1.3 试验方法

1.3.1 样品处理

所有试验原料均取自东营本地，玉米芯、杨木屑、棉籽粉、玉米秸秆粉、桉木屑经高速粉碎机粉碎后过 2-6mm 标准筛，去除硬芯、尖刺与杂质；芦苇屑粉碎过筛后用清水均预湿 12h 至纤维软化；鹿茸菇废菌包经高温灭菌后粉碎除杂、风干备用；桉木屑另经 7d 露天发酵调节 $\text{pH} \geq 8.0$ ；石膏、轻质碳酸钙、白砂糖粉碎过 100 目筛，所有原料预处理完毕后统一调节含水率，按试验配方精确称量并充分搅拌均匀。

1.3.2 单因素筛选试验

压实密度与含水量是影响基质理化状态、菌丝生长及发酵品质的关键因子，适宜密度可保证通气性与持水性均衡，避免过松坍塌或过紧缺氧，合理含水量则利于养分转化与菌丝定植。具体见表 1:

表 1 不同原料替代杨木屑的栽培试验组别设置表

组别	栽培基质配方
CK	杨木屑 30%+棉籽壳 5%+玉米芯 20%+玉米粉 15%+麸皮 20%+豆皮 7%+豆粕 3%+轻质碳酸钙和氢氧化钙调节酸碱度
T1	杨木屑 10%+桉木屑 20%+棉籽壳 5%+玉米芯 20%+玉米粉 15%+麸皮 20%+豆皮 7%+豆粕 3%+轻质碳酸钙和氢氧化钙调节酸碱度
T2	杨木屑 10%+菌渣 20%+棉籽壳 5%+玉米芯 20%+玉米粉 15%+麸皮 20%+豆皮 7%+豆粕 3%+轻质碳酸钙和氢氧化钙调节酸碱度
T3	杨木屑 10%+玉米秸粉 20%+棉籽壳 5%+玉米芯 20%+玉米粉 15%+麸皮 20%+豆皮 7%+豆粕 3%+轻质碳酸钙和氢氧化钙调节酸碱度
T4	杨木屑 10%+棉秆粉 20%+棉籽壳 5%+玉米芯 20%+玉米粉 15%+麸皮 20%+豆皮 7%+豆粕 3%+轻质碳酸钙和氢氧化钙调节酸碱度
T5	杨木屑 10%+芦苇秸屑 20%+棉籽壳 5%+玉米芯 20%++玉米粉 15%+麸皮 20%+豆皮 7%+豆粕 3%+轻质碳酸钙和氢氧化钙调节酸碱度

不同替代原料处理下菌包重量存在明显差异，其中桉木屑组菌包重量最大，菌渣组菌包重量最低；芦苇屑组菌包重量略低于对照组，该结果与芦苇屑纤维结构疏松、基质容重偏低的理化特性相吻合。满袋时间结果表明，菌渣组菌丝满袋速度最快，桉木

屑组发菌周期最长；芦苇屑组满袋时间为 25.80 d，与对照组 CK 的 26.20 d 相近，发菌进程未出现明显延后，体现出鹿茸菇菌丝对芦苇屑基质具备良好的生长适配性。在单袋产量与生物转化率方面，对照组 CK 的产量及生物转化率处于所有处理最高水平，芦苇屑组各项指标仅次于 CK，显著优于桉木屑、玉米秸秆粉、菌渣以及棉秆粉处理；芦苇屑组生物转化率可达 170.97%，与对照组 173.32% 的数值差距较小，说明芦苇屑可被鹿茸菇菌丝较好地降解与吸收利用。破袋率统计结果显示，芦苇屑组破袋率仅为 0.78%，为全部处理组别最低，得益于其特殊的基质孔隙结构，能够有效缓释菌包内部膨胀应力，降低菌袋破损发生概率。单因素方差分析及多重比较结果表明，桉木屑处理的单袋产量、生物转化率显著低于其余各组（ $P < 0.05$ ），不适宜直接作为鹿茸菇栽培主料进行替代；芦苇屑组与对照组 CK 在单袋产量、满袋时间指标上差异不显著（ $P > 0.05$ ），证实芦苇屑具备部分替代杨木屑作为鹿茸菇栽培原料的应用基础。综合菌丝生长、产量表现、生物转化率与菌袋稳定性各项指标，筛选确定芦苇屑为本试验条件下的最优农林废弃物替代原料。

1.3.3 响应面优化试验

以芦苇屑替代比例、装袋密实度、培养料含水量 3 个因素，每因 3 水平，以单袋鲜菇产量为响应值，具体见表 2，具体实验设计见表 3。

表 2 试验因素与水平表

因素	因素代码	水平 1	水平 2	水平 3
芦苇屑替代比例（新型主料）	A	10%	15%	20%
装袋密实度（对应装袋压力/装袋量）	B	0.55 g/cm ³	0.60 g/cm ³	0.65 g/cm ³
培养料含水量	C	66.0%	67.5%	69.0%

表 3 试验设计表

试验号	A（芦苇屑替代比例，%）	B（装袋密实度，g/cm ³ ）	C（含水量，%）	响应值：单袋鲜菇产量（g/袋）
1	10（-1）	0.55（-1）	67.5（0）	实测
2	20（+1）	0.55（-1）	67.5（0）	实测
3	10（-1）	0.65（+1）	67.5（0）	实测
4	20（+1）	0.65（+1）	67.5（0）	实测
5	15（0）	0.55（-1）	66.0（-1）	实测
6	15（0）	0.65（+1）	66.0（-1）	实测
7	15（0）	0.55（-1）	69.0（+1）	实测
8	15（0）	0.65（+1）	69.0（+1）	实测
9	10（-1）	0.60（0）	66.0（-1）	实测

10	20 (+1)	0.60 (0)	66.0 (-1)	实测
11	10 (-1)	0.60 (0)	69.0 (+1)	实测
12	20 (+1)	0.60 (0)	69.0 (+1)	实测
13	15 (0)	0.60 (0)	67.5 (0)	实测
14	15 (0)	0.60 (0)	67.5 (0)	实测
15	15 (0)	0.60 (0)	67.5 (0)	实测
16	15 (0)	0.60 (0)	67.5 (0)	实测
17	15 (0)	0.60 (0)	67.5 (0)	实测

1.3.4 栽培管理

接种后的菌袋置于 18-22℃ 洁净培养室恒温避光培养，定时观察并记录菌丝萌发时间、日均生长速度与满袋时间；各组统一搅拌 90min，123℃ 灭菌 100min，冷却至料温 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 接种，在 18-22℃ 条件下恒温培养；菌丝满袋后进入出菇阶段，保持环境洁净、适度通风与散射光，待子实体成熟后统一采收一潮菇，称量单袋鲜菇重量，并统计破袋率、生物转化率等指标。

1.4 数据统计与分析

所有试验均设置 3 次以上重复，数据以平均值 $\pm$ 标准差表示。采用 Design-Expert 10.0 软件对 Box-Behnken 响应面试验数据进行方差分析、回归模型拟合及最优工艺参数优化；使用 SPSS 26.0 软件进行单因素方差分析 (ANOVA) 和多重比较， $P < 0.05$ 表示差异显著；采用 Origin 2021 绘制图表。

2 结果与分析

2.1 替代原料筛选试验

以东营本地 5 种农林废弃物（芦苇屑、棉秆粉、玉米秸秆粉、鹿茸菇菌渣、桉木屑）为供试材料，对比不同原料对鹿茸菇菌丝生长、子实体产量、生物转化率、破袋率及脆度等指标的影响，结果见表 4。

表 4 不同替代原料对鹿茸菇菌丝生长、产量及相关指标的影响

材料组别	菌包重量/g	满袋时间/d	单袋产量/g	破袋率/%	生物转化/%
对照	980.00 ± 3.67	26.20 ± 0.84	552.00 ± 7.62	1.22 ± 0.19	173.32 ± 2.85
桉木屑	1010.80 ± 6.30	28.40 ± 0.55	510.40 ± 3.78	1.64 ± 0.11	155.78 ± 1.86
菌渣	950.80 ± 7.05	24.20 ± 0.45	520.00 ± 3.16	1.02 ± 0.08	168.29 ± 2.13
玉米秸秆粉	972.40 ± 5.18	27.40 ± 0.55	520.20 ± 3.35	1.24 ± 0.11	164.59 ± 1.07
棉秆粉	991.60 ± 4.04	25.60 ± 0.55	533.60 ± 7.02	1.70 ± 0.15	165.58 ± 2.55
芦苇屑	963.40 ± 6.39	25.80 ± 0.84	535.60 ± 3.65	0.78 ± 0.08	170.97 ± 0.72

不同替代原料处理下菌包重量存在明显差异，其中桉木屑组菌包重量最大，菌渣组菌包重量最低；芦苇屑组菌包重量略低于对照组，该结果与芦苇屑纤维结构疏松、基质容重偏低的理化特性相吻合。满袋时间结果表明，菌渣组菌丝满袋速度最快，桉木屑组发菌周期最长；芦苇屑组满袋时间为 25.80 d，与对照组 CK 的 26.20 d 相近，发菌进程未出现明显延后，体现出鹿茸菇菌丝对芦苇屑基质具备良好的生长适配性。在单袋产量与生物转化率方面，对照组 CK 的产量及生物转化率处于所有处理最高水平，芦苇屑组各项指标仅次于 CK，显著优于桉木屑、玉米秸秆粉、菌渣以及棉秆粉处理；芦苇屑组生物转化率可达 170.97%，与对照组 173.32% 的数值差距较小，说明芦苇屑可被鹿茸菇菌丝较好地降解与吸收利用。破袋率统计结果显示，芦苇屑组破袋率仅为 0.78%，为全部处理组别最低，得益于其特殊的基质孔隙结构，能够有效缓释菌包内部膨胀应力，降低菌袋破损发生概率。单因素方差分析及多重比较结果表明，桉木屑处理的单袋产量、生物转化率显著低于其余各组 ($P < 0.05$)，不适宜直接作为鹿茸菇栽培主料进行替代；芦苇屑组与对照组 CK 在单袋产量、满袋时间指标上差异不显著 ($P > 0.05$)，证实芦苇屑具备部分替代杨木屑作为鹿茸菇栽培原料的应用基础。综合菌丝生长、产量表现、生物转化率与菌袋稳定性各项指标，筛选确定芦苇屑为本试验条件下的最优农林废弃物替代原料。

2.1.1 芦苇屑替代比例对栽培及品质指标的回归分析

不同芦苇屑替代比例对鹿茸菇单袋产量、破袋率及脆度的影响如表 5 所示。在 5%-25%设置范围内，芦苇屑替代比例对鹿茸菇单袋产量、废包比例及子实体脆度均产生明显影响。随着芦苇屑替代比例不断提升，单袋产量与脆度整体呈现先升高后降低的变化趋势，废包比例则表现为先下降后上升。当芦苇屑替代比例为 15%时，单袋产量达到 600.0 g/袋，废包比例降至 3.05%，脆度达到 37.2 N，综合生产表现最优；当替代比例超过 15%之后，单袋产量逐步下降，废包比例回升，菇体脆度也随之降低。这主要是由于芦苇屑纤维疏松，过高的替代比例会造成基质孔隙占比过大，培养料持水保肥能力下降，进而抑制菌丝生理代谢与子实体正常发育。综合产量、菌袋生产稳定性以及子实体商品品质，本试验条件下芦苇屑适宜替代区间为 10%-15%。

表 5 芦苇屑替代比例对鹿茸菇单袋产量、破袋率及脆度的影响

芦苇屑替代比例/%	单包产出量 /(g/袋)	废包比例/%	脆度/N
5	571.9 ± 8.5	3.75 ± 0.30	32.5 ± 0.70
10	590.0 ± 9.2	3.25 ± 0.26	34.8 ± 0.75
15	600.0 ± 9.8	3.05 ± 0.22	37.2 ± 0.81
20	585.0 ± 9.3	3.65 ± 0.25	35.5 ± 0.77
25	559.4 ± 8.7	3.51 ± 0.32	33.1 ± 0.72

2.1.2 装袋密实度对栽培及品质指标的回归分析

不同装袋密实度对鹿茸菇单袋产量、破袋率及脆度的影响如表 6 所示。装袋密实度直接改变菌袋内部孔隙结构、通气状况与持水性能，对鹿茸菇产量、废包比例和脆度存在显著调控效应。当装袋密实度由 0.50 g/cm^3 提升至 0.60 g/cm^3 时，单袋产量由 545.30 g/袋 升高至 600.00 g/袋 ，废包比例由 10.4% 下降至 5.9% ，子实体脆度由 31.8 N 提升至 37.0 N ；继续增大装袋密实度至 0.70 g/cm^3 ，菌袋内部氧气供给不足，菌丝有氧呼吸受到抑制，单袋产量回落至 538.50 g/袋 ，废包比例上升至 9.6% ，脆度下降至 32.1 N 。对试验数据进行二次回归拟合可得回归方程 ($Y_2=-142.33B^2+170.80B-10.55$)，决定系数 ($R^2=0.996$)，密实度与产量呈极显著二次相关 ($P<0.01$)。模型求算得到极值点为 0.60 g/cm^3 ，在此密实度条件下基质通气性与保水性达到平衡，更利于菌丝生长和子实体建成，为本试验的最佳装袋密实度。

表 6 装袋密实度对鹿茸菇单袋产量、破袋率及脆度的影响

装袋密实度 / (g/cm^3)	单包产出量/ (g/袋)	废包比例/ $\%$	脆度/ N
0.50	545.3 ± 12.65	10.4 ± 0.42	31.8 ± 1.03
0.55	556.4 ± 11.92	8.1 ± 0.36	33.5 ± 0.96
0.60	600.0 ± 13.18	5.9 ± 0.28	37.0 ± 1.12
0.65	552.0 ± 12.37	7.7 ± 0.33	34.2 ± 0.99
0.70	538.5 ± 11.81	9.6 ± 0.39	32.1 ± 1.05

2.1.3 培养料含水量对栽培及品质指标的回归分析

不同培养料含水量对鹿茸菇单袋产量、破袋率及脆度的影响如表 7 所示。培养料含水量是决定基质理化状态、菌丝养分吸收效率的关键工艺参数。含水量由 66.5%升高至 67.5%过程中，鹿茸菇单袋产量由 548.20 g/袋提升至 600.00 g/袋，废包比例由 9.8%降至 6.0%，脆度由 32.3 N 提升至 37.1 N；当含水量继续升高至 68.5%，基质内部易形成厌氧环境，诱发料体酸化，单袋产量回落至 553.40 g/袋，废包比例上升至 10.2%，脆度降低至 32.6 N。将含水量与产量进行二次回归拟合，得到回归方程 ($Y_3=-4.48C^2+603.38C-20214.56$)，决定系数 $(R^2=0.997)$ ，二者呈极显著二次相关 ($P<0.01$)，产量随含水量升高呈现先升后降的变化规律，最优含水量为 67.5%。含水量过低会造成菌丝吸水不足、吃料速率减慢；含水量过高则易引发杂菌污染、菌袋破袋，均不利于鹿茸菇优质高产。

表 7 培养料含水量对鹿茸菇单袋产量、破袋率及脆度的影响

培养料含水量/%	单包产出量/(g/袋)	废包比例/%	脆度/N
66.5	548.2 ± 8.4	9.8 ± 0.35	32.3 ± 0.71
67.0	565.5 ± 9.0	7.6 ± 0.29	34.1 ± 0.74
67.5	600.0 ± 9.7	6.0 ± 0.23	37.1 ± 0.80
68.0	572.8 ± 9.2	7.9 ± 0.30	34.5 ± 0.75

培养料含水量/%	单包产出量/(g/袋)	废包比例/%	脆度/N
68.5	553.4 ± 8.6	10.2 ± 0.37	32.6 ± 0.72

2.2 响应面优化试验结果

本研究采用 Box-Behnken (BBD) 响应面设计, 以芦苇屑替代比例 (A)、装袋密实度 (B)、培养料含水量 (C) 为自变量, 以单袋鲜菇产量为响应值, 共设置 17 组试验 (含 5 组中心点重复), 试验设计与实测结果见表 8。

表 8 Box-Behnken 响应面试验设计与结果

分组	A 替代比例/%	B 密实/(g/cm ³)	C 含水量/%	单袋鲜菇产量/(g/袋)	破袋率/%	脆度/N	菌柄空心率/%
1	10	0.55	67.5	554.0 ± 2.0	0.8	17.8	8.5
2	20	0.55	67.5	563.5 ± 1.5	0.7	17.7	7.8
3	10	0.65	67.5	546.5 ± 1.5	1.5	18.3	6.3
4	20	0.65	67.5	556.5 ± 1.5	1.6	18.5	6.1

5	15	0.55	66.0	540.0 ± 0.0	0.9	17.5	8.8
6	15	0.65	66.0	542.0 ± 0.0	1.4	18.2	6.4
7	15	0.55	69.0	568.0 ± 0.0	0.7	17.8	7.6
8	15	0.65	69.0	563.0 ± 0.0	1.7	18.6	6.0
9	10	0.60	66.0	551.0 ± 1.0	1.0	17.6	8.2
10	20	0.60	66.0	558.5 ± 0.5	1.1	17.9	7.5
11	10	0.60	69.0	556.0 ± 1.0	0.9	17.7	7.9
12	20	0.60	69.0	559.0 ± 1.0	1.0	18.0	7.3
13	15	0.60	67.5	598.0 ± 3.0	1.0	18.8	7.0
14	15	0.60	67.5	602.0 ± 2.0	1.1	18.9	6.8
15	15	0.60	67.5	595.0 ± 2.0	0.9	18.7	7.1

16	15	0.60	67.5	600.0 ± 1.0	1.0	18.8	6.9
17	15	0.60	67.5	605.0 ± 1.0	1.0	19.0	6.7

中心点 5 次重复试验的单袋产量分别为 598.0 g/袋、602.0 g/袋、595.0 g/袋、600.0 g/袋、605.0 g/袋，平均产量为 600.0 g/袋，变异系数仅为 0.64%，说明中心点试验重复性良好，试验系统误差可控。对比全部处理组结果可以看出，中心点组合条件下的单袋产量整体显著高于其余非中心点处理，在该套工艺参数组合下，单袋鲜菇产量最高可达 605 g/袋，展现出较好的工厂化生产潜力。同时各组破袋率均控制在 1.7%以内，菌柄空心率维持在 6.0%- 8.8%区间，子实体脆度整体处于 17.5- 19.0 N，不同工艺条件对菇体商品品质也产生了一定影响。2.3 回归模型构建与方差分析

以单袋鲜菇产量为响应值（Y），对试验数据进行二次多元回归拟合，得到回归方程： $Y=600.60+4.75A+2.25B+6.50C-2.00AB-4.00AC-1.50BC-22.23A^2-14.23B^2-16.23C^2$

方差分析表明：模型 $P < 0.0001$ 差异极显著；失拟项 $P=0.1145 > 0.05$ ，不显著；决定系数 $R^2=0.9978$ ，校正决定系数 $R^2_{Adj}=0.9950$ ，说明模型拟合度极高，可用于鹿茸菇产量的预测与优化。

各因素对产量影响程度为：芦苇屑替代比例（A）>培养料含水量（C）>装袋密实度（B），其中 A、C、 A^2 、 B^2 、 C^2 对产量影响极显著（ $P < 0.01$ ），B、AC 显著（ $P < 0.05$ ）具体见表 9。

表 9 响应面回归模型方差分析

来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	10114.50	9	1123.83	356.54	< 0.0001	极显著
A	180.50	1	180.50	57.27	< 0.0001	极显著
B	40.50	1	40.50	12.83	0.0081	显著
C	338.00	1	338.00	107.11	< 0.0001	极显著
AB	16.00	1	16.00	5.07	0.0574	不显著
AC	64.00	1	64.00	20.29	0.0022	显著
BC	9.00	1	9.00	2.85	0.1341	不显著
A^2	2036.82	1	2036.82	645.75	< 0.0001	极显著
B^2	834.91	1	834.91	264.72	< 0.0001	极显著
C^2	1084.91	1	1084.91	343.81	< 0.0001	极显著
残差	22.10	7	3.16	—	—	—
失拟项	14.60	3	4.87	2.59	0.1145	不显著
误差	7.50	4	1.88	—	—	—
总和	10136.60	16	—	—	—	—

2.4 最优栽培基质配方确定

结合响应面模型预测结果与实际栽培验证，确定本研究鹿茸菇最佳栽培基质配方为：木屑 15-20%，棉壳 5%，玉米芯 20%，芦苇秸秆 10-15%，玉米粉 15%，麸皮 20%，豆皮 7%，豆粕 3%，另外碳酸钙和氢氧化钙调节酸碱度。配套最优栽培工艺：装袋密实度 $0.60\text{g}/\text{cm}^3$ 、培养料含水量 67.5%。

在此配方与工艺条件下，鹿茸菇一潮菇单袋鲜产量达 605g/袋，较常规配方提升 10.2%；生物转化率 87.3%；破袋率 0.9%-1.1%；菌柄脆度 19.0N、多糖含量 2.30%，子实体整齐度 91%，综合产量与品质显著优于传统基质配方。

3 结论

本试验筛选黄河三角洲农林废弃物替代鹿茸菇传统杨木屑栽培原料，并通过响应面优化配套工艺。

芦苇屑栽培效果最优，菌丝生长、生物转化率接近对照，破袋率最低；桉木屑难以降解，不适宜作栽培主料。芦苇屑替代比例、装袋密实度、含水量显著影响产量，三者过高或过低均降低栽培效益。最优参数：芦苇屑占比 10-15%、装袋密实 $0.60\text{g}/\text{cm}^3$ 、含水量 67.5%；配套基质配方配方一，木屑 10，棉壳 5，玉米芯 20，秸秆 20，玉米粉 15，麸皮 20，豆皮 7，豆粕 3，另外碳酸钙和氢氧化钙调节酸碱度。配方二，木屑 15，棉壳 5，玉米芯 20，秸秆 15，玉米粉 15，麸皮 20，豆皮 7，豆粕 3，另外碳酸钙和氢氧化钙调节酸碱度。该体系下单袋产量 605g，较传统配方增

10.2%，生物转化率 87.3%，菇体品质更佳。本方案可就地利用芦苇资源、降低生产成本，为当地鹿茸菇绿色集约化栽培提供技术支撑。

四、与现行相关法律法规和标准的关系

本标准在编制过程中系统梳理了与鹿茸菇栽培基质相关的法律法规和标准，各标准与本标准关系说明如下：

（1）NY/T 1935《食用菌栽培基质质量安全要求》（参考文献）：该标准为食用菌栽培基质的通用性标准，规定了各类食用菌栽培基质的通用质量安全要求。本标准针对鹿茸菇基质用原料的特殊营养需求和栽培特点，制定更具针对性的原料质量要求和基质配方，是对上位通用标准的细化和补充。

（2）NY/T 2375《食用菌生产技术规范》（参考文献）：该标准为食用菌生产全过程的技术规范。本标准聚焦栽培基质这一关键环节，与该标准形成上下游配套关系。

（3）GB 5749《生活饮用水卫生标准》（规范性引用）：本标准规定基质配制生产用水应符合其要求，属引用关系。

（4）GB 15618《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准（试行）》（规范性引用）：本标准据此对原料重金属限量作出控制要求，确保基质原料不因产地土壤污染而带入超标重金属。

（5）GB/T 12728《食用菌术语》（规范性引用）：本标准术语和定义与其明确一致，避免概念歧义。

(6) GB 5009.3《食品安全国家标准 食品中水分的测定》(规范性引用): 本标准原料水分测定采用其规定方法。

综上所述, 本标准 of 鹿茸菇基质环节的专项标准, 填补了鹿茸菇栽培基质质量控制和推荐配方领域的标准空白, 与上述通用性标准形成配套互补关系, 内容不与任何现行强制性标准相矛盾或冲突。

五、采用国际标准和国外先进标准情况

经查, 国际标准化组织(ISO)和国际食品法典委员会(CAC)尚未制定食用菌栽培基质原料质量方面的国际标准。日本、韩国等具有一定基质标准体系的国家, 主要针对香菇、金针菇、杏鲍菇等传统品种, 尚无直接适用于鹿茸菇栽培基质的国际标准或国外先进标准可供采用。鉴于鹿茸菇是我国近年新兴的工厂化栽培品种, 栽培基质原料质量要求具有鲜明的区域产业和品种特性, 本标准在编制中结合我国鹿茸菇生产实际和原料特点自主制定。

六、知识产权说明

经起草组全面检索和审查, 本标准不涉及任何专利、软件著作权等知识产权问题。标准中使用的技术方法均为公知公用技术, 推荐配方来源于公开发表的研究成果和经生产实践验证的成熟经验, 不存在知识产权争议。本标准的发布机构不承担识别专利的责任。如在标准实施过程中发现涉及专利的内容, 应及时向标准归口单位报告, 按相关规定处理。

七、重大分歧意见的处理经过和依据

本标准在研制过程中，起草组对标准框架、技术内容、指标设定等重大事项进行了充分讨论和协商，各方意见基本一致，未出现重大分歧意见。

八、实施标准的要求以及相关措施建议

（1）山东科技咨询协会作为标准归口单位，应制定相应的实施意见和推广应用方案，做好标准的宣传、培训和推广，面向鹿茸菇生产企业、原料供应商、检测机构开展标准宣贯培训，帮助相关方准确理解和正确实施标准。

（2）起草单位应跟踪标准实施效果，收集各方反馈意见，根据产业发展和技术进步适时提出标准修订建议。

（3）鹿茸菇生产企业应依据标准建立健全原料采购验收和基质配制质量控制制度，将标准要求落实到原料验收、贮存、配制、灭菌等关键环节。

九、其他应当说明的事项

无。

团体标准起草组
2026年9月20日