

# 不同浓度木醋酸对香菇菌丝生长、 子实体产量和品质的影响

胡素娟<sup>1</sup>, 孟庆涛<sup>2</sup>, 祁勇<sup>2</sup>, 刘芹<sup>1</sup>, 宋志波<sup>1</sup>, 袁瑞奇<sup>1</sup>, 孔维威<sup>1</sup>

(1. 河南省农业科学院食用菌研究所 郑州 450002; 2. 河南省农村社会事业发展服务中心 郑州 450003)

**摘要:**以夏二品种为试材,基础配方为对照(CK),设置4种不同浓度(0.08%、0.10%、0.20%和0.40%)木醋酸处理,研究不同浓度木醋酸对香菇菌丝生长、子实体产量和品质的影响。结果表明,与CK相比,不同浓度木醋酸对香菇菌丝生长、产量和品质均具有明显影响,其中木醋酸添加浓度为0.10%时,平板菌丝生长速度和栽培产量分别为 $0.65\text{ cm}\cdot\text{d}^{-1}$ 和 $172.79\text{ g}\cdot\text{棒}^{-1}$ ,显著高于CK。在此条件下,香菇子实体游离氨基酸总量最高,质构也最佳。采用主成分分析法从13个特征指标提取2个主成分,累计方差贡献率为92.593%。建立综合评价模型 $F=0.804F_1+0.196F_2$ ,结果显示,0.10%木醋酸处理的综合得分最高。综上,与CK相比,添加0.10%木醋酸可以有效促进香菇菌丝生长、提高栽培产量和品质。研究结果可为香菇优质高效栽培奠定基础。

**关键词:**香菇;木醋酸;菌丝生长速度;产量;品质;质构

**中图分类号:**S646.1<sup>2</sup> **文献标志码:**A **文章编号:**1673-2871(2025)11-085-07

## Effects of different concentrations of wood vinegar on mycelial growth, yield and quality of fruit body of *Lentinula edodes*

HU Sujuan<sup>1</sup>, MENG Qingtao<sup>2</sup>, QI Yong<sup>2</sup>, LIU Qin<sup>1</sup>, SONG Zhibo<sup>1</sup>, YUAN Ruiqi<sup>1</sup>, KONG Weiwei<sup>1</sup>

(1. Institute of Edible Fungi, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, Henan, China; 2. Henan Province Rural Social Undertakings Development Service Center, Zhengzhou 450003, Henan, China)

**Abstract:** Xia 2 was used as experimental material, the basic formula was used as control (CK), three treatments with different concentration of wood vinegar were set to study the impact of varying wood vinegar concentrations on mycelial growth, yield and quality and texture of fruit body of *Lentinula edodes*. The results showed that different concentrations of wood vinegar had significant effects on the on mycelial growth, yield and quality and texture of fruit body of *L. edodes*. When the concentration of wood vinegar was 0.10%, the plate mycelial growth rate and cultivation yield were  $0.65\text{ cm}\cdot\text{d}^{-1}$  and  $172.79\text{ g}\cdot\text{bag}^{-1}$ , which were significantly higher than those of control group ( $P < 0.05$ ). At the same time, the total amount of free amino acids in the fruiting body of *L. edodes* was the highest and the texture was the best. Principal component analysis method was used to simplify the index into two key components, contributing to a cumulative variance of 92.593%, and the comprehensive evaluation model  $F=0.804F_1+0.196F_2$  was constructed. The analysis revealed that the 0.10% treatment received the top overall rating. In general, compared with CK, the addition of wood vinegar can effectively promote the mycelial growth rate and increase the yield, and improve the quality and texture of *L. edodes*. The results can lay a foundation for the cultivation of high-quality of *L. edodes*.

**Keywords:** *Lentinula edodes*; Wood vinegar; Mycelial growth rate; Yield; Quality; Texture

香菇(*Lentinula edodes*)隶属于担子菌门伞菌纲伞菌目口蘑科小香菇属,是中国广泛栽培的食用菌种类之一<sup>[1]</sup>。香菇有较高的药用和食用价值,具有抗氧化、提高免疫力、抗病毒等功能,有“菇中之王”的美誉<sup>[2-3]</sup>。据中国食用菌协会2022年度产业报告,全国食

用菌年度总产量达4 222.54万t,其中香菇贡献了1 295.48万t,占总产量的30.68%,形成千亿级规模产业,带动逾千万从业群体的就业发展。因此保障香菇高产、稳产是食用菌产业高质量发展的关键<sup>[4]</sup>。

木醋酸是植物原料经历炭化及干馏过程,所产

收稿日期:2025-03-07;修回日期:2025-05-31

基金项目:国家食用菌产业技术体系(CARS-20)

作者简介:胡素娟,女,助理研究员,主要从事食用菌育种和栽培研究。E-mail:584205373@qq.com

通信作者:孔维威,男,副研究员,主要从事食用菌栽培技术和育种研究。E-mail:kongweiwei888@126.com

生的气体混合物经冷凝回收与后续的分离步骤制得的混合有机物<sup>[5-6]</sup>。木醋酸中已鉴定出酸、醇、酚、酯、羰基类及呋喃类等约500种成分。木醋酸经过简单和精细加工后,可用于农业、工业、环境保护、医疗卫生及食品加工保鲜等诸多领域。农业生产上可作为植物生长促进剂、土壤改良剂、抗菌剂、杀虫剂、驱避剂、消臭剂、饲料添加剂、有机肥发酵剂来使用,具有安全、无污染、无残留等优点<sup>[6]</sup>。研究表明,木醋酸在特定浓度区间内对食用菌生长代谢具有显著促进作用,当木醋酸处于适宜浓度范围时,可有效提升平菇菌丝体生物量积累及香菇子实体形成效率<sup>[7]</sup>。Yoshimura等<sup>[8]</sup>通过系统评估不同浓度(w,后同)木醋酸溶液(0.001%、0.01%、0.1%和0.2%)在马铃薯葡萄糖液体培养基中对食用菌菌丝的影响,表明该添加剂对鳞伞、滑菇及平菇等菌丝发育均呈现正向调控效应。张利军<sup>[9]</sup>进一步将0.3%木醋酸引入平菇栽培体系,经对比分析显示,处理组较未添加木醋酸的对照组实现28%以上的产量增幅。

鉴于此,笔者基于剂量效应关系理论,系统探究木醋酸浓度梯度对香菇菌丝体生长、子实体产量及品质特征(包括质构参数)的调控规律,旨在建立木醋酸在食用菌栽培技术体系中的剂量响应模型,以期为其产业化应用提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

1.1.1 参试品种 供试香菇品种为夏二,由河南省农业科学院食用菌种质资源库保藏,属短菌龄、中温偏低型秋栽香菇品种。

1.1.2 栽培材料 栎木屑、麸皮、糖、石膏由洛阳双惠菌业有限公司提供,木醋酸由河南中青敦敏供应链管理有限公司提供。

1.1.3 培养基 PDA培养基:马铃薯浸出粉3.0 g,琼脂14.0 g,葡萄糖20.0 g,蒸馏水定容至1000 mL,121℃高压蒸汽灭菌30 min。

PDB培养基:马铃薯浸出粉5.0 g,氯化钠5.0 g,蛋白胨10 g,葡萄糖20.0 g,蒸馏水定容至1000 mL,121℃高压蒸汽灭菌30 min。

栽培培养基:栎木屑78%,麸皮20%,糖1%,石膏粉1%,含水量为55%。

### 1.2 方法

1.2.1 不同浓度木醋酸对香菇菌丝生长的影响 将香菇菌种接种于PDA平板培养基上,25℃恒温活化培养7 d,采用6 mm打孔器在菌落边缘打孔取

菌块。分别将菌块接种于不同浓度木醋酸(0.08%、0.10%、0.20%和0.40%)的PDA平板培养基中央,以基础配方为对照(CK),25℃恒温避光培养,测量菌丝生长速率,记录菌丝长势。每个处理10次重复。

1.2.2 不同浓度木醋酸对香菇菌丝生物量的影响 选用活化后的香菇菌丝块6块,分别接种于1.2.1中不同浓度木醋酸的PDB培养基中(100 mL),于25℃、150 r·min<sup>-1</sup>摇床振荡培养10 d。无菌无纺布过滤收集菌丝,置于50℃烘箱烘干至恒质量,称质量即得菌丝生物量。每个处理3次重复。发酵液于4℃、10 000g条件下离心10 min,收集上清液用于酶活性测定。

1.2.3 不同浓度木醋酸对香菇菌丝酶活性的影响 参考胡延如等<sup>[10]</sup>、庄庆利等<sup>[11]</sup>的方法,分别采用ABTS法和DNS法进行香菇漆酶和羧甲基纤维素酶活性的测定。

1.2.4 不同浓度木醋酸对香菇生长发育的影响 参照段庆虎等<sup>[12]</sup>的方法,菌棒制作和出菇管理执行相应的方案。制作菌棒从2023年10月20日开始,由洛阳双惠菌业有限公司完成制棒。按照配方比例将木屑提前3~5 d预湿,加入拌料机内完全搅拌均匀,培养料含水量为55%。自动装袋机装袋,使用21 cm×60 cm×0.006 cm的聚乙烯塑料袋,每袋装料棒湿质量为4.00 kg。装袋后及时灭菌,接种、发菌、转色和出菇按正常管理进行。2024年3月25日,将转色完成后的菌棒进行脱袋,根据香菇菌丝试验结果,分别采用50 L 0.10%、0.20%和0.40%的木醋酸溶液浸泡菌棒24 h。每个处理30个菌棒。将香菇菌棒控水后放置在出菇层架上,进行出菇管理。待第一茬香菇子实体七八成熟时采摘,分别从各处理组选取10棒,采摘子实体,计算产量和单朵鲜菇质量。并将香菇水平放置,卡尺横跨菌盖最宽处(过中心),读取数值即为菌盖直径;卡尺垂直于菌盖表面(从菌盖下表面到上表面)测量中心位置,读取数据即为菌盖厚度。

1.2.5 子实体氨基酸含量测定 将采摘的新鲜香菇子实体置于60℃烘箱中烘干,称取100 g干菇样品,参照Liu等<sup>[13]</sup>的方法测定氨基酸组成和含量。

1.2.6 子实体质构测定 子实体质构测定参照刘芹等<sup>[13]</sup>的方法。取香菇子实体菌盖中心大小为1 cm<sup>3</sup>的菌肉,菌褶向下,采用质构仪测定其质构特性。测定条件:P/75探头,TPA测试,测前速度10.0 mm·s<sup>-1</sup>、测试速度2.0 mm·s<sup>-1</sup>、测后速度10.0 mm·s<sup>-1</sup>,压缩比10%,2次压缩间隔时间5 s,自

动触发类型,触发力 5.00g。每组重复测定 10 次,结果取平均值。

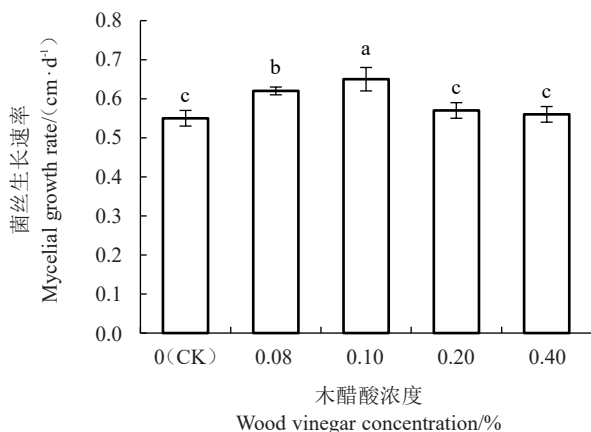
### 1.3 数据分析

所有数据表示为平均值 $\pm$ 标准差。单因素方差分析(ANOVA)和差异显著性分析(Tukey-Kramer 检验)采用 SPSS V22.0 软件。采用 R 语言进行主成分分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同浓度木醋酸对香菇菌丝长势和生长速率的影响

添加不同浓度木醋酸的香菇平板菌丝生长情况如图 1 所示,0.10%木醋酸处理组较 CK 和其他处理组长势好,其菌落边缘整齐,菌丝洁白浓密。菌丝生长速率随木醋酸添加浓度的升高呈先升高后降低的趋势,当木醋酸浓度为 0.10%时,香菇菌丝生长速率最快,达到  $0.65 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$ ,显著高于其他浓度处理组。



注:不同小写字母表示在  $P<0.05$  水平差异显著。下同。

Note: Different small letters indicate significant difference at  $P<0.05$  level. The same below.

图 1 不同浓度木醋酸对香菇菌丝生长速率的影响

Fig. 1 Effects of different concentrations of wood vinegar on the mycelial growth rate of *Lentinula edodes*

### 2.2 不同浓度木醋酸对香菇菌丝生物量的影响

由于平板培养体系在表征菌丝体整体生长状态方面存在局限,特别是对基质内菌丝与气生菌丝的生物量难以实现精准量化,笔者采用液体发酵试验,系统评估了梯度浓度木醋酸处理对香菇菌丝生物量的动态影响。当基质中木醋酸浓度逐步升高时,菌丝生物量的积累呈先上升后下降的趋势(图 2)。与对照组(未添加木醋酸)相比,试验组在一定浓度梯度范围内均表现出统计学意义的生物量增长,且在木醋酸浓度为 0.10%时得到的生物量最大;

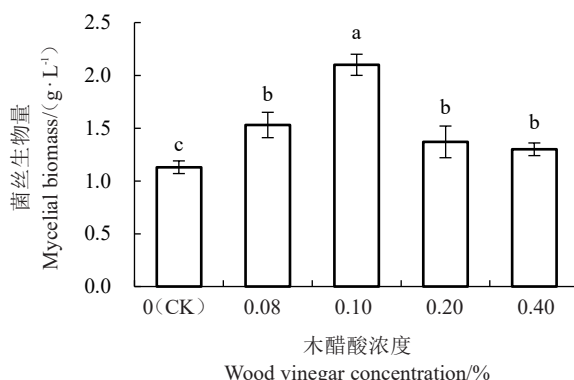


图 2 不同浓度木醋酸对香菇菌丝生物量的影响

Fig. 2 Effects of different concentrations of wood vinegar on the mycelial biomass of *Lentinula edodes*

当木醋酸浓度增加至 0.20%和 0.40%时,菌丝生物量与 0.10%木醋酸处理相比显著降低。

### 2.3 不同浓度木醋酸对香菇菌丝漆酶活性的影响

木醋酸对香菇菌丝漆酶活性的影响如图 3 所示,在 0~0.40%浓度区间内,漆酶活性随木醋酸浓度变化呈典型的单峰型响应曲线,其峰值出现在 0.10%处理组,酶活性达到  $1.38 \text{ U} \cdot \text{mL}^{-1}$ ,较对照(CK)显著提高了 119.05%。

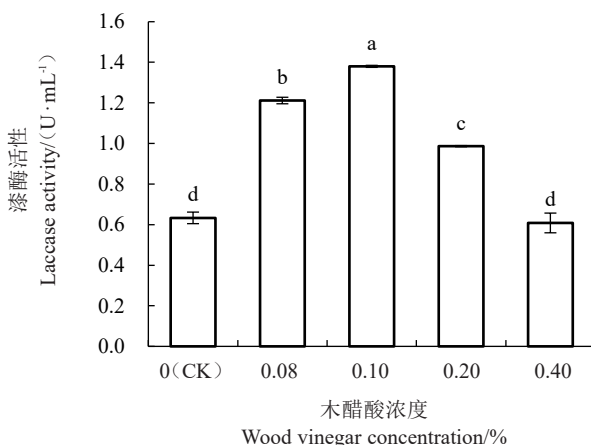


图 3 不同浓度木醋酸对香菇菌丝漆酶活性的影响

Fig. 3 Effects of different concentrations of wood vinegar on the laccase activity of *Lentinula edodes*

### 2.4 不同浓度木醋酸对香菇菌丝羧甲基纤维素酶活性的影响

与漆酶活性相似,羧甲基纤维素酶活性随木醋酸施用浓度的提升呈先升高后降低的趋势,当木醋酸添加量达到 0.10%时,酶活性出现峰值( $9.83 \text{ U} \cdot \text{mL}^{-1}$ ),较 CK 显著提高了 26.03%(图 4)。然而,当木醋酸液浓度超过此阈值后,酶活性水平开始逐渐下降。



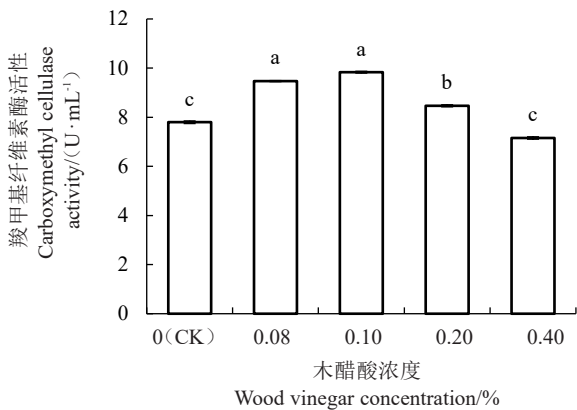


图 4 不同浓度的木醋酸对香菇菌丝羧甲基纤维素酶的影响

Fig. 4 Effects of different concentrations of wood vinegar on the carboxymethyl cellulase activity of *Lentinula edodes*

2.5 不同浓度木醋酸对香菇产量的影响

经数据统计分析发现,木醋酸施用浓度与香菇栽培生产指标间存在显著关联。如表 1 所示,菌棒产量及生物学效率随木醋酸浓度梯度呈现典型的单峰型变化模式,即在特定浓度阈值前随浓度提升正向增长,超出该阈值后则转为负向响应。值得注意的是,相较于未添加木醋酸的对照组,各处理组的产量和生物学效率均显著提升,且与菌丝生长速度和生物量的结果一致,在木醋酸浓度为 0.10%时,产量和生物学效率达到最高,每个菌棒平均产香菇 172.79 g,生物学效率达 61.27%。平均每朵香菇的干质量、菌盖直径和厚度与 CK 均无显著差异,说明木醋酸可以提高香菇的产量,但对香菇单菇大小和

表 1 不同浓度的木醋酸对香菇子实体干质量、菇形和生物学效率的影响

Table 1 Effects of different concentrations of wood vinegar on the dry mass, mushroom shape and biological efficiency of fruit body of *Lentinula edodes*

木醋酸浓度 Concentration of wood vinegar/%	每棒产量 Yield per stick/g	每朵菇干质量 Dry mass of each mushroom/g	生物学效率 Biological efficiency/%	菌盖直径 Pileus diameter/cm	菌盖厚度 Pileus thickness/cm
0(CK)	118.50±11.10 c	3.08±0.24 a	42.02±1.35 c	5.69±0.56 ab	2.19±0.22 a
0.10	172.79±14.63 a	3.00±0.18 a	61.27±2.03 a	5.74±0.71 ab	2.28±0.48 a
0.20	146.74±20.43 b	3.20±0.27 a	52.04±2.55 b	6.12±0.94 a	2.17±0.19 a
0.40	138.44±9.68 b	2.89±0.24 a	49.09±1.59 b	5.25±0.54 b	2.03±0.31 a

注:同列不同小写字母表示在  $P<0.05$  水平差异显著。  
Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference at the  $P<0.05$  level.

菇形没有明显影响。

2.6 不同浓度木醋酸对香菇氨基酸含量的影响

不同浓度木醋酸对香菇子实体氨基酸含量的影响如表 2 所示,共检测出 17 种游离氨基酸,其中 Glu、Asp、Leu、Lys 和 Ala 为主要成分,含量(w,后同)均超过  $0.80\text{ g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$ 。木醋酸处理有利于香菇子实体中游离氨基酸含量的提高,在浓度为 0.10%时,香菇子实体中的游离氨基酸总量最大,为  $14.74\text{ g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$ ,显著高于未添加木醋酸的对照组 ( $13.44\text{ g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$ )。木醋酸浓度为 0、0.10%、0.20%和 0.40%的香菇子实体中的必需氨基酸(essential amino acid,EAA)含量与非必需得氨基酸(non-essential amino acid,NEAA)含量比值(EAA/NEAA)分别为 47.11%、49.78%、49.53%和 47.57%;必需氨基酸在氨基酸总量(total amino acid content,TAA)中的占比(EAA/TAA)分别为 32.02%、33.25%、33.12%和 32.23%,在木醋酸浓度为 0.10%时,EAA/TAA 和 EAA/NEAA 均最高。

根据其呈味特征,可将游离氨基酸分为甜味

(Ala、Thr、Ser 和 Gly)、鲜味(Glu 和 Asp)、苦味(Arg、His、Val、Phe、Met、Ile 和 Leu)和无味(Lys 和 Tyr)氨基酸 4 个类别。由图 5 可知,香菇子实体中呈味氨基酸(鲜味与甜味类)总含量随木醋酸浓度变化呈先升后降的动态特征。当木醋酸添加量为 0.10%时,该指标达到峰值状态,分别为  $5.08$  和  $2.94\text{ g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$ 。说明与 CK 相比,不同浓度的木醋酸对香菇子实体中的游离氨基酸含量和组成具有明显影响,适量浓度的木醋酸处理有利于子实体鲜美口感的形成。

2.7 不同浓度木醋酸对香菇质构的影响

由图 6 可知,未经木醋酸处理的菌棒产生的香菇子实体硬度、弹性、胶黏性和咀嚼性均最小,分别是  $74.48\text{ N}$ 、 $1.51\text{ mm}$ 、 $32.90\text{ N}$  和  $49.71\text{ mj}$ ,表现为口感绵软和形变回复能力下降。在木醋酸浓度为 0.10%时,香菇子实体的硬度、弹性、胶黏性和咀嚼性分别为  $85.16\text{ N}$ 、 $1.84\text{ mm}$ 、 $40.26\text{ N}$  和  $70.95\text{ mj}$ ,均显著高于 CK,值得注意的是,该试验组与 0.20%、0.40%浓度处理组间的差异未达显著水平。以上结果表明,

表 2 不同浓度的木醋酸对香菇子实体氨基酸含量的影响

Table 2 Effects of different concentrations of wood vinegar on the content of free amino acid in fruit body of *Lentinula edodes* (g·100 g<sup>-1</sup>)

氨基酸名称 Amino acid name	木醋酸浓度 Concentration of wood vinegar/%			
	0(CK)	0.10	0.20	0.40
蛋氨酸 Met*	0.06±0.01 a	0.07±0.01 a	0.07±0.01 a	0.07±0.01 a
缬氨酸 Val*	0.65±0.02 b	0.77±0.02 a	0.76±0.03 a	0.76±0.02 a
赖氨酸 Lys*	0.83±0.03 a	0.87±0.02 a	0.87±0.02 a	0.86±0.02 a
异亮氨酸 Ile*	0.53±0.02 b	0.62±0.02 a	0.62±0.01 a	0.54±0.02 b
苯丙氨酸 Phe*	0.63±0.03 b	0.72±0.05 a	0.69±0.04 b	0.67±0.03 b
亮氨酸 Leu*	0.96±0.02 b	1.18±0.04 a	1.09±0.06 a	0.98±0.05 b
苏氨酸 Thr*	0.64±0.02 a	0.66±0.03 a	0.66±0.04 a	0.65±0.08 a
组氨酸 His	0.28±0.03 a	0.30±0.02 a	0.29±0.02 a	0.29±0.04 a
天冬氨酸 Asp	1.22±0.10 a	1.23±0.05 a	1.23±0.05 a	1.22±0.08 a
丝氨酸 Ser	0.75±0.01 a	0.77±0.03 a	0.76±0.02 a	0.76±0.03 a
谷氨酸 Glu	3.46±0.03 b	3.85±0.12 a	3.73±0.17 a	3.70±0.15 a
甘氨酸 Gly	0.65±0.02 a	0.67±0.02 a	0.66±0.02 a	0.65±0.02 a
丙氨酸 Ala	0.83±0.04 a	0.84±0.03 a	0.84±0.03 a	0.83±0.02 a
酪氨酸 Tyr	0.33±0.02 b	0.38±0.03 a	0.36±0.02 a	0.35±0.03 ab
精氨酸 Arg	0.67±0.01 b	0.78±0.02 a	0.76±0.03 a	0.74±0.03 a
脯氨酸 Pro	0.60±0.05 b	0.64±0.02 a	0.62±0.01 b	0.61±0.04 b
半胱氨酸 Cys	0.35±0.03 a	0.37±0.01 a	0.37±0.02 a	0.37±0.02 a
总氨基酸 Total amino acid	13.44±0.35 b	14.74±0.51 a	14.38±0.45 a	14.05±0.23 a

注:同行不同小写字母表示在  $P<0.05$  水平差异显著。\*表示必需氨基酸。  
Note: Different lowercase letters in the same row indicate significant difference at the  $P<0.05$  level. \* represents essential amino acid.

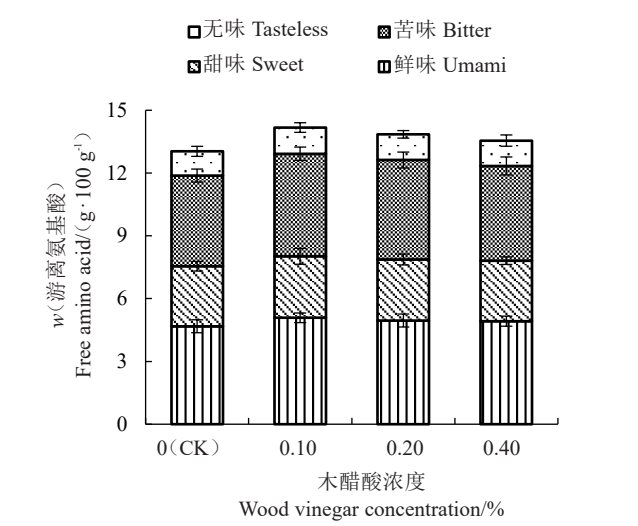


图 5 不同浓度木醋酸对香菇子实体游离氨基酸含量和分类的影响

Fig. 5 Effects of different concentrations of wood vinegar on the content and type of free amino acid in fruit body of *Lentinula edodes*

不同浓度木醋液对香菇子实体的质构具有显著影响,适宜浓度的木醋酸处理可以提高香菇子实体的口感。

2.8 综合评价

由表 3 可知,主成分分析结果显示仅有主成分 1 和主成分 2 的特征值超过临界值 1,且两者累

计解释方差占比达到 92.593%,因此确定选取这两个主成分进行后续分析。主成分 1(PC1)主要综合了菌丝生长速率、菌丝生物量、产量、生物学效率、氨基酸总量、质构参数(硬度、弹性、胶黏性、咀嚼性)以及漆酶和羧甲基纤维素酶活性等变量的信息,这些指标在 PC1 上呈现出显著因子载荷,表明其与第一主成分存在较强相关性。主成分 2(PC2)则主要表现子实体形态特征,其中菌盖直径与菌盖厚度的载荷值明显高于其他变量。基于主成分方差贡献率的权重分配原则,构建综合评价函数  $F=0.804F_1+0.196F_2$ ,用于量化不同木醋酸浓度对香菇菌丝及子实体生长发育的复合影响效应。综合评分值越高表示此木醋酸浓度越有利于香菇生长发育。由表 4 可知,随着木醋酸处理浓度的增加,综合评分值呈先升后降的抛物线趋势,其中 0.10%处理组的综合评分高于其他 3 组,未添加木醋酸的对照组综合评分最低。以上结果表明,不同浓度木醋酸对香菇生长发育的影响差异显著,经不同浓度的木醋酸处理均有利于香菇的生长发育,且在浓度为 0.10%时效果最好,此时香菇菌丝生长速度最快,子实体产量和品质最高。

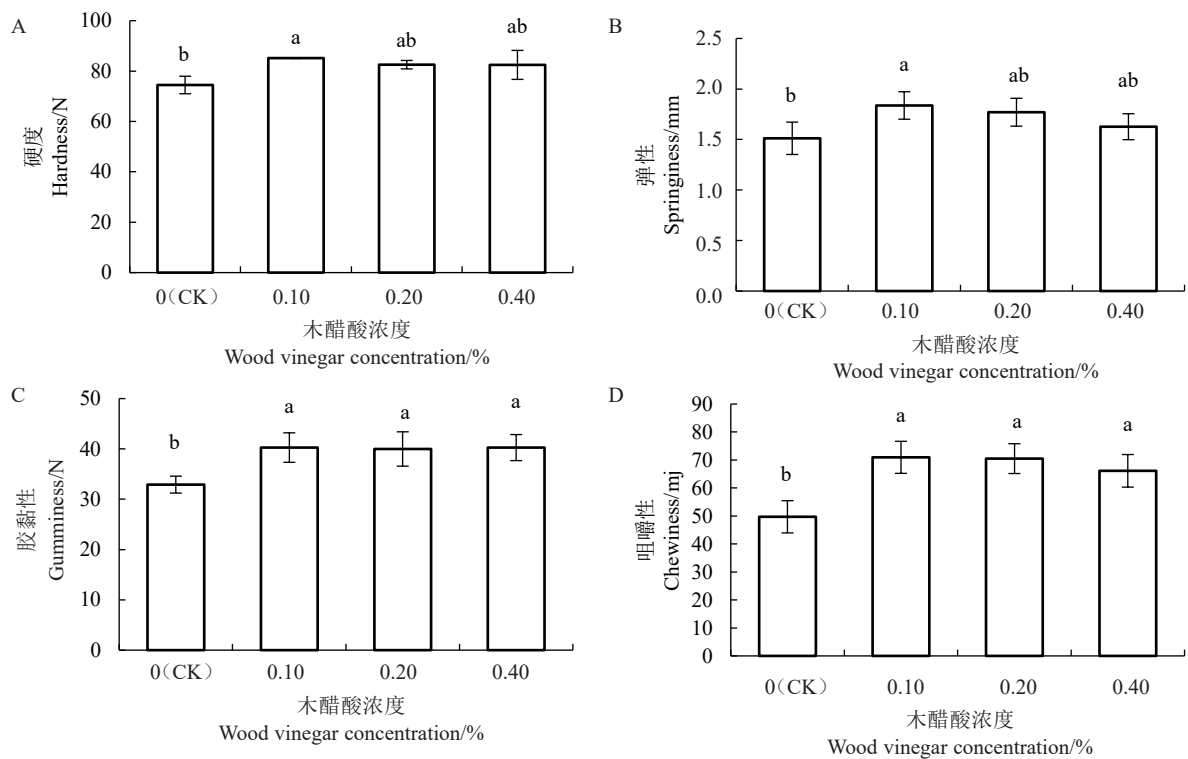


图 6 不同浓度的木醋酸对香菇子实质地构的影响

Fig. 6 Effects of different concentrations of wood vinegar on the texture properties of fruit body of *Lentinula edodes*

表 3 主成分的特征向量和贡献率  
Table 3 Principal component eigenvectors and contribution rate

指标 Index	主成分 Principal component	
	1	2
菌丝生长速率 Mycelial growth rate	0.915	0.213
菌丝生物量 Mycelial biomass	0.934	0.142
产量 Yield	0.992	-0.072
生物学效率 Biological efficiency	0.993	-0.074
菌盖直径 Pileus diameter	0.332	0.555
菌盖厚度 Pileus thickness	0.552	0.832
氨基酸总量 Total amino acid content	0.979	-0.181
硬度 Hardness	0.878	-0.477
弹性 Springiness	0.977	-0.076
胶黏性 Gumminess	0.739	-0.659
咀嚼性 Chewiness	0.845	-0.475
漆酶活性 Laccase activity	0.949	0.314
羧甲基纤维素酶活性 Carboxymethyl cellulase activity	0.864	0.502
特征值 Eigenvalues	9.684	2.353
贡献率 Contribution rate/%	74.490	18.103
累计贡献率 Cumulative contribution rate/%	74.490	92.593

表 4 主成分因子综合得分矩阵  
Table 4 Comprehensive score matrix of principal component factor

木醋酸浓度 Concentration of wood vinegar/%	F1	F2	F	排名 Rank
0(CK)	-3.776	1.275	-2.789	4
0.10	3.665	0.865	3.118	1
0.20	0.866	0.017	0.700	2
0.40	-0.756	-2.156	-1.029	3

的木醋酸处理可促进香菇产量及生物学效率的提高,浓度过高的木醋酸会降低产量和生物转化率。当施用浓度超过 0.10%阈值时,香菇生物量积累与木醋酸浓度梯度呈负相关。木醋酸对香菇产量的提高可能是通过其含有的物质来发挥作用的<sup>[6]</sup>。木醋酸中已检测出酯、酸、醇、酚、羰基类以及呋喃类等约 500 种成分,其中酸类约 50 种、醇类约 20 种、酯类约 20 种、内酯类约 20 种、羰基类约 130 种、呋喃类约 50 种、酚类约 80 种,其他成分约 130 种<sup>[16, 14-15]</sup>。此外,还检测出少量的氨基酸及微量元素<sup>[16]</sup>。究竟是木醋酸中的哪种成分和哪几种成分在起作用,目前尚无结论。经研究证实,木醋酸中检测到的甲酸甲酯、戊酸甲酯及乙酸甲酯等酯类成分对植物生长具有促进作用<sup>[17]</sup>,并且木醋酸对植物的促进作用是其含有的多种组分在协同作用的结果。

3 讨论与结论

木醋酸对作物和食用菌具有增产、抗菌、提质等功效。与倪淑君等<sup>[7]</sup>的研究结果相似,适宜浓度

果<sup>[18]</sup>。另外,木醋酸中的多种组分在综合协同下抑制了多种病原菌的生长<sup>[18-19]</sup>。香菇栽培配制以木质纤维素基质为主体的培养料,典型代表包括栎木屑及苹果树枝条等农业副产物。在植物细胞壁中,木质素与纤维素、半纤维素这种大分子物质构成木质纤维素的稳定结构基础,微生物降解十分困难<sup>[20]</sup>。在代谢过程中,香菇菌丝体通过合成纤维素酶、木质素分解酶,将培养基内的纤维素、木质素等分解为葡萄糖,以此作为菌丝增殖所需的主要碳源及能量。笔者研究认为,适当浓度的木醋酸中含有的有机酸、酚类物质等通过协助香菇分泌的纤维素酶、漆酶等促进纤维素、木质素的降解,从而促进菌丝的生长和产量的提高。此外,木醋酸施用浓度对香菇子实体感官品质与物理特性存在显著调控作用。研究显示,当处理浓度为0.10%时,子实体内总氨基酸含量达到峰值,其中鲜味与甜味氨基酸组分占比尤为突出。呈味氨基酸在食材感官特性中起关键作用<sup>[21]</sup>。天冬氨酸(Asp)与谷氨酸(Glu)作为鲜味特征氨基酸,直接决定食用菌的典型鲜味强度<sup>[22]</sup>。甜味氨基酸不仅能掩盖苦涩味,还能通过与鲜味氨基酸协同增效强化整体风味感知<sup>[23-24]</sup>。因此,木醋酸在适宜浓度范围内可显著优化香菇子实体的风味感知特性。从质构学角度分析,硬度表征样品抵抗齿间挤压的生物力学特性;弹性描述材料在解除外力后恢复原始形态的比率<sup>[25]</sup>;咀嚼性则通过硬度、弹性及内聚性三者的协同作用,量化咀嚼过程口感的物理指标<sup>[26]</sup>。当木醋酸浓度为0.10%时,香菇子实体具有较好的质构表现,呈现为最大值的硬度、弹性、咀嚼性和胶黏性。

综上所述,笔者通过木醋酸浓度梯度试验,系统评估了其对香菇菌丝体生长、子实体产量及品质的影响。试验数据显示,0.10%木醋酸添加量处理组在香菇菌丝生长、生物学效率、子实体氨基酸含量与质构特性等关键指标上均呈现最佳效果,证实该浓度的木醋酸具有显著刺激菌丝胞外代谢活性及改善子实体综合品质的作用。本研究结果为优质香菇栽培奠定了基础,也为木醋酸在食用菌方面的应用提供了数据支撑。

### 参考文献

- [1] 李玉,李泰辉,杨祝良,等.中国大型菌物资源图鉴[M].郑州:中原农民出版社,2015.
- [2] LIU Q, CUI X, SONG Z B, et al. Coating shiitake mushrooms (*Lentinus edodes*) with a polysaccharide from *Oudemansiella radicata* improves product quality and flavor during postharvest storage[J]. Food Chemistry, 2021, 352, 129357.
- [3] LIU Q, HU S J, SONG Z B, et al. Relationship between flavor and energy status in shiitake mushroom (*Lentinula edodes*) harvested at different developmental stages[J]. Journal of Food Science, 2021, 86(10): 4288-4302.
- [4] 中国食用菌协会. 2022 年度全国食用菌统计调查结果分析[EB/OL]. (2023-12-31)[2025-02-20]http://www. cefa.org.cn.
- [5] 王泽平,王祎,朱学强,等.木醋精制液浸种对玉米产量及氮肥利用率的影响[J].河南农业大学学报,2021,55(6):1045-1051.
- [6] 平安.木醋液在农业上的应用及作用机理研究[D].哈尔滨:东北林业大学,2010.
- [7] 倪淑君,张海峰,孙雷,等.木醋液在平菇和香菇生产上的应用研究[J].黑龙江农业科学,2011(7):110-113.
- [8] YOSHIMURA H, HAYAKAWA T. Acceleration effect of wood vinegar from *Quercus crispula* on the mycelial growth of some Basidiomycetes[J]. Trans Mycol Soc Japan, 1990, 9: 71-74.
- [9] 张利军.木材熏蒸物作为食用菌栽培增产添加剂的研究[J].中国食用菌,1991(4):24-26.
- [10] 胡延如,柴茜茜,董浩哲,等.磷酸氢二铵对糙皮侧耳菌丝生长及基质降解酶活性的影响[J].菌物学报,2022,41(4):658-667.
- [11] 庄庆利,李冠军,申进文.平菇栽培过程中胞外酶活性变化的研究[J].河南农业大学学报,2010,44(2):163-166.
- [12] 段庆虎,张应香,竹玮,等.黄腐酸对香菇菌丝生长、子实体生物学效率和品质的影响[J].中国瓜菜,2023,36(10):104-111.
- [13] 刘芹,胡素娟,牛森园,等.不同干燥方式对香菇品质、质构和微观结构的影响[J].北方园艺,2023(11):98-106.
- [14] 周岭,蒋恩臣,张强,等.木醋液的精制方法及其在农林生产上的应用[J].可再生能源,2007,25(4):56-60.
- [15] 赵彦巧,李建颖,林淑英,等.酸枣壳木醋液的精制及保鲜效果研究[J].食品工业科技,2014,35(15):152-154.
- [16] 杨艳春,黄仲明,张敬东. ICP-MS 法测定木醋液中的微量元素[J].微量元素与健康研究,2007,24(6):45-46.
- [17] 杨柳,唐光木,张云舒,等.农林废弃物热解木醋液的农业应用研究进展[J].江苏农业科学,2024,52(18):18-25.
- [18] 卢胜男,周岭,王龙杰,等.木醋液的制备及其在农业方面的应用研究进展[J].山西农业科学,2023,51(2):225-232.
- [19] 雷舒婉,王薛梅,陈全,等.木醋液抑菌活性成分及抑菌机理综述[J].生态学杂志,2024,44(3):991-1001.
- [20] 岑延新,何志强,王俊杰,等.木醋液防治作物病害及防控机制研究进展[J].江苏农业科学,2023,53(12):17-25.
- [21] LIU Q, NIU S Y, HU S J, et al. Lignocellulose degradation pattern and structural change of the sawdust substrate and enzyme secretion by *Lentinula edodes* during its production[J]. Wood Science and Technology, 2023, 57(2): 389-405.
- [22] MAU J L. The umami taste of edible and medicinal mushrooms[J]. International Journal of Medicinal Mushrooms, 2005, 7(1): 119-125.
- [23] HOU H, LIU C, LU X S, et al. Characterization of flavor frame in shiitake mushrooms (*Lentinula edodes*) detected by HS-GC-IMS coupled with electronic tongue and sensory analysis: Influence of drying techniques[J]. Lwt- Food Science and Technology, 2021, 146: 111402.
- [24] LUO D S, WU J H, MA Z, et al. Production of high sensory quality Shiitake mushroom (*Lentinus edodes*) by pulsed air-impingement jet drying (AID) technique[J]. Food Chemistry, 2021, 341(2): 128290.
- [25] 赵圆圆,易建勇,毕金峰,等.干燥方式对复水香菇感官、质构及营养品质的影响[J].食品科学,2019,40(3):101-108.
- [26] WANG L Q, HU Q H, PEI F, et al. Influence of different storage conditions on physical and sensory properties of freeze-dried *Agaricus bisporus* slices[J]. LWT- Food Science and Technology, 2018, 97: 164-171.