

不同比例花椒枝屑对 3 个平菇品种 生长和品质的影响

王惠明, 杨永兴, 胥玲花, 高瑞琴, 柳卫东

(陇南市经济林研究院 甘肃陇南 746000)

摘要:为筛选适宜花椒枝屑栽培平菇的品种和基质配方,以夏福 2 号、大叶 39、早秋 615 为供试菌种,每个品种设置玉米芯配比不同花椒枝屑比例处理[20%(T1)、40%(T2)、60%(T3)、80%(T4)、100%(T5)],以纯玉米芯为对照(CK),测定 3 种平菇在不同比例花椒枝屑处理下的菌丝生长、子实体农艺性状、产量和营养品质等指标,采用相关性分析、主成分分析和隶属函数法对平菇的生长和品质进行综合评价。结果表明,3 种平菇在所有处理下均能生长并出菇,不同品种在各处理下呈显著差异。低比例花椒枝屑(T1、T2)菌丝生长较快,长势中等,满袋时间和接种至首次采收的时间较短,高比例花椒枝屑(T3~T5)菌丝生长较慢,长势较弱,满袋时间和接种至首次采收的时间较长。主成分分析与隶属函数法综合评价显示,夏福 2 号在 T1 处理(20%花椒枝屑+80%玉米芯)和 CK 综合表现最优,大叶 39 和早秋 615 均在 T2 处理(40%花椒枝屑+60%玉米芯)综合表现最优。综上,T2 处理可作为花椒枝屑栽培平菇(早秋 615 和大叶 39)的适宜基质配方。本研究结果为花椒枝屑的资源化利用及平菇的优质栽培奠定了基础。

关键词:平菇;花椒枝屑;品质;隶属函数法;综合评价

中图分类号:S646.1⁺4

文献标志码:A

文章编号:1673-2871(2026)09-052-13

Effects of different proportions of Chinese prickly ash branch on the growth and quality of three *Pleurotus ostreatus* varieties

Wang Huiming, Yang Yongxing, Xu Linghua, Gao Ruiqin, Liu Weidong

(Longnan Academy of Non-wood Forest, Longnan 746000, Gansu, China)

Abstract: In order to screen suitable varieties and substrate formulations on Chinese prickly ash branch for cultivating *Pleurotus ostreatus*. Three strains (Xiafu No. 2, Daye 39 and Zaoqiu 615) were used as tested materials. Different proportions of Chinese prickly ash branch treatment (0%, 20%, 40%, 60%, 80%, 100%) were set for each strain. Control group (CK) was pure corncob. Mycelium growth, agronomic traits of fruiting bodies, yield and nutritional quality of three *Pleurotus ostreatus* varieties under different proportions of Chinese prickly ash branch treatments were determined. Correlation analysis, principal component analysis and membership function method were employed for comprehensive evaluation of growth and quality. The results showed that three *Pleurotus ostreatus* varieties could grow and fruit under all the treatments, with significant differences among strains across treatments. The low proportions of Chinese prickly ash branch (T1, T2) promoted faster mycelium growth, the mycelial vigor rating was medium, the mycelium run-through time and the time from inoculation to first harvest were shorter. The high proportions of Chinese prickly ash branch (T3 to T5) slowed mycelial growth, with the mycelial vigor rating was weaker. The mycelium run-through time and the time from inoculation to first harvest were longer. Comprehensive evaluation by principal component analysis and the membership function method showed that Xiafu No. 2 exhibited the best overall performance under T1 (20% Chinese prickly ash branch + 80% corncob) and CK tests, while Daye 39 and Zaoqiu 615 both performed best under T2 (40% Chinese prickly ash branch + 60% corncob). In conclusion, T2 can be recommended as a suitable substrate formulation for cultivating *Pleurotus ostreatus* (Daye 39 and Zaoqiu 615) using Chinese prickly ash branch. These findings provide a foundation for the resource utilization of Chinese prickly ash branch and the high-quality cultivation of *P. ostreatus*.

Key words: *Pleurotus ostreatus*; Chinese prickly ash branch; Quality; Membership function method; Comprehensive evaluation

收稿日期:2026-01-27;修回日期:2026-06-09

基金项目:甘肃省科技计划资助-乡村振兴专项(24CXNK001, 26CXNK005, 2022kj030)

作者简介:王惠明,女,高级工程师,主要从事特色经济林研究。E-mail: mmyz2011@163.com

平菇作为我国第三大食用菌,产量仅次于香菇、黑木耳,2023年产量达613.66万t,占全国食用菌总产量的14.15%^[1]。平菇味道鲜美,肉质肥厚,富含蛋白质、氨基酸、矿物质等营养成分,深受消费者的青睐^[2]。与其他食用菌相比,平菇具有栽培基质来源广、生长周期短、栽培技术简便、经济效益可观等优势,产业发展潜力巨大^[3]。尽管平菇栽培料开发已取得较大进展,但培养料组成对平菇生长发育及产量的系统研究仍较为匮乏,成为其栽培产量稳步提升的关键瓶颈,且不同栽培原料的营养构成不同,导致其栽培的平菇子实体营养品质和产量存在差异,这也为平菇栽培基质的科学配比和优化带来挑战^[4]。

花椒为芸香科药食两用经济树种,开发利用价值突出,是我国重要的经济林树种^[5]。我国花椒种植面积与产量均居世界首位,主要产于四川、重庆、陕西、甘肃、河北、云南、山东等省份,每年修剪产生的枝梢量占树冠总量的2/3以上^[6]。甘肃省花椒栽培主要集中在陇南、临夏、天水、平凉等地区,其中陇南为全省核心产区,亦是全国花椒最适宜产区之一,仅陇南市武都区花椒种植面积即占全省总面积的40%^[7]。花椒修剪和嫁接产生大量枝条废弃物,目前以焚烧或低值利用为主,既浪费资源,又污染环境。实现废弃枝条的资源化利用,是延伸花椒产业链的关键环节^[8]。

2017年,中央农村工作会议提出“向植物、动物、微生物要热量、要蛋白”的发展要求,2025年中央一号文件进一步明确“践行大食物观,全方位多途径开发食物资源”,提出“构建多元化食物需求供给体系”并“推动食用菌产业提质增效”。作为“森林中的黄金”,食用菌不仅能高效利用农业废弃物,实现“变废为宝”,还能拓展食物来源,在优化食物营养结构和推动农业可持续发展中发挥重要作用^[9]。目前,花椒副产物的研究利用多集中于花椒籽、花椒叶、花椒渣、嫩叶等部位,针对花椒枝的资源化利用研究较为薄弱^[10],不同花椒枝干木屑配比对平菇生长、产量和品质的影响以及适宜花椒基质的品种筛选等关键问题尚未见系统报道。鉴于此,笔者以平菇品种夏福2号、大叶39、早秋615为研究对象,以花椒枝屑为主要栽培基质,探究不同基质配比对平菇菌丝生长、农艺性状、产量及营养品质的影响,并采用隶属函数法进行综合评价,筛选适宜花椒枝屑栽培平菇的最优基质配方与适宜品种,以期平菇栽培提供新型木屑替代原料,并优化栽培技术体系,

同时为提高花椒产业废弃物高值化利用水平及促进陇南和同类花椒产区的菌椒产业融合发展提供科学依据。

1 材料与方法

试验于2025年1—10月在陇南市经济林研究院进行。

1.1 材料

1.1.1 供试菌种 供试平菇菌株为夏福2号、大叶39、早秋615,原种均由江苏天达食用菌研究所提供,菌种纯度、活力符合平菇栽培试验要求,保障试验基线一致。

1.1.2 培养料来源及处理 试验所用玉米芯、麸皮和玉米粉等均采购于当地市场,新鲜、干燥且无霉变。花椒枝干采集于陇南市花椒种植户,粉碎至0.5~1.0 cm,过7 mm筛。经测定,花椒枝屑中有机碳含量(w,后同)为46.0%,玉米芯有机碳含量为45.6%(参照重铬酸钾法)^[11],花椒枝屑氮含量为9.38 g·kg⁻¹,玉米芯氮含量为6.69 g·kg⁻¹(参照LY/T 1271—1999^[12]),与苹果、梨、桃、核桃剪枝木屑中有机碳和全氮成分接近^[13],玉米芯C/N约为68:1,花椒枝屑C/N约为49:1,具备作为食用菌栽培替代基质的养分基础。

1.2 方法

1.2.1 试验设计 本研究设6个处理,以纯玉米芯为对照(CK),另设5个花椒枝屑与玉米芯不同配比处理:20%花椒枝屑+80%玉米芯(T1)、40%花椒枝屑+60%玉米芯(T2)、60%花椒枝屑+40%玉米芯(T3)、80%花椒枝屑+20%玉米芯(T4)、100%花椒枝屑(T5)。每个处理中,主料占总量的81.45%,辅料占总量的18.55%(麸皮6.96%,玉米面3.48%,生石灰6.96%,蔗糖0.35%,二胺0.49%,尿素0.31%)。每个处理设3次重复,每次重复40袋。

1.2.2 栽培方法 按比例分别称取主料花椒枝屑和玉米芯,加水预湿,加入麸皮、玉米面、生石灰等辅料,与主料翻拌混匀,堆置发酵2 d,每天翻堆1次。控制培养料水分含量为60%~65%,采用装袋机装袋,栽培袋为23 cm×47 cm×0.025 mm的聚乙烯袋,每个栽培袋湿质量2.75~3.35 kg。

采用常压蒸汽灭菌,4~6 h内升温至100℃并恒温保持12 h,随后停火焖袋,待温度降至60℃时取出菌袋,冷却至室温后开展接种操作。采用开放式接种法,解开袋口的扎带,将菌种均匀撒播在袋口料面,然后套上塑料套环,覆盖2层无菌报纸封

口,并用橡皮圈密封固定^[14]。分别在料袋两头接种,每袋总接种量 100~120 g。

接种完成后,将菌袋转移至培养室进行发菌管理。提前对培养室全面清扫、消毒灭菌,悬挂遮阳网实现全遮光处理,营造适宜菌丝生长的暗环境,培养室空气相对湿度为 65%~75%,温度 20~28℃,菌袋按“井”字形摆放 2~3 层。

出菇房内铺设地毯有利于保水保湿,菌袋间距保持 10 cm,摆放 2 层。出菇房空气湿度保持 85%~90%,温度 20~28℃。每日早晚各喷水 1 次,注意通风换气,保证菇房内氧气充足。当平菇子实体生长至菌盖颜色变浅、边缘平展未内卷时,及时采收。

1.3 指标测定与方法

1.3.1 菌丝长势和色泽评定 采用直接观测法,评定各处理菌丝浓密程度与洁白度,通过“+”数量分级判定,数量越多表示菌丝长势越浓密、色泽越洁白。分级标准为:+(弱)、++(较弱)、+++ (中等)、++++(较强)、+++++(强)^[15]。

1.3.2 菌丝生长速度测定 待菌袋内菌丝生长至“齐肩”状态时进行首次划线,菌丝两端碰头接触时进行二次划线,记录两次划线间隔天数,测量两条划线间的菌丝直线生长长度,按以下公式计算菌丝平均生长速度:菌丝平均生长速度($\text{cm} \cdot \text{d}^{-1}$)=菌丝直线生长长度(cm)/菌丝生长天数(d)。菌丝长满菌袋的时间记为满袋时间(d)。

1.3.3 子实体农艺性状测定 每个品种及处理随机选取 6 个菌袋,用游标卡尺及直尺测定菌盖纵径、横径、菌盖厚度、菌柄长度及直径^[16]。

1.3.4 产量及生物学转化率测定 每个品种及处理随机选取 6 个菌袋,编号,记录每次采收时单棒出菇数,使用电子秤测定子实体鲜质量,统计栽培期内各潮次产量及总产量^[17]。生物学转化率/%=子实体鲜质量(kg)/培养料干质量(kg) $\times 100$ 。

1.3.5 子实体营养成分测定 参照 GB 5009.3—2016 测定水分含量^[18];参照 GB 5009.5—2025 测定蛋白质含量^[19];参照 GB 5009.124—2016 测定氨基酸含量^[20]。

1.4 数据分析

采用 Excel 整理试验数据,采用 SPSS 25.0 进行单因素方差分析、相关性分析、共线性诊断及 KMO 检验、主成分分析,采用 Origin 2024b 作图。

采用隶属函数法对各处理平菇生长指标、产量及品质指标进行综合评价^[21]。

2 结果与分析

2.1 不同处理下3种平菇的菌丝生长状况

由表 1 可知,3 种平菇在各处理下均能正常生长并出菇。从菌丝生长速度来看,3 种平菇均以 CK 最快,显著高于各花椒枝屑处理(T1~T5);各花椒枝屑处理间,3 种平菇均以 T1 处理最快,但各处理间差异不显著。从满袋时间看,3 种平菇均以 CK 最短,且显著短于各花椒枝屑处理,夏福 2 号满袋时间 T1~T5 处理较 CK 延长 6.34~11.00 d,且 T1~T5 处理间差异不显著;大叶 39 满袋时间依次为 CK<T1<T2<T5<T3<T4,T1~T5 处理较 CK 延长 2.66~10.00 d,T1 和 T2 处理显著短于 T3~T5 处理;早秋 615 满袋时间依次为 CK<T1<T2<T4=T5<T3,T1~T5 处理较 CK 延长 5.34~15.34 d,T3 处理显著长于 T1~T2 处理。从菌丝长势看,3 种平菇菌丝长势在 CK、T1 和 T2 处理下均为“+++”,表现为浓密、洁白、整齐,T3~T5 下菌丝长势降为“++”,密度和整齐度下降,这一趋势在 3 种平菇中表现一致,当主料中花椒枝屑占比 60%以上时菌丝长势受到影响。从接种至首次采收的时间看,3 种平菇均以 CK 最短,且显著短于 T1~T5 处理(除大叶 39 的 T2 处理外),夏福 2 号依次为 CK<T1<T2<T4<T3<T5,T5 处理较 CK 延长 11.84 d,且显著长于 T1、T2、T4 处理;大叶 39 依次为 CK<T2<T1<T3<T4<T5,T5 处理较 CK 延长 12.34 d,T4、T5 处理显著长于 T1~T3 处理;早秋 615 依次为 CK<T2<T1<T4<T5<T3,T3、T4、T5 处理显著长于 T1~T2 处理,T3 处理较 CK 延长 16.83 d。综上,3 种平菇在低比例花椒枝屑(T1、T2)下菌丝生长速度虽有所下降,满袋时间及接种至首次采收的时间相对延长,但菌丝长势仍表现为“+++”,高比例花椒枝屑(T3~T5)处理的菌丝长势表现为“++”,满袋时间和接种至首次采收的时间显著延长。

2.2 不同处理下3种平菇的子实体农艺性状

由表 2 可知,在不同处理下,3 种平菇子实体的农艺性状存在明显的品种差异和处理间差异。在平均单棒出菇数方面,夏福 2 号的 T1 处理显著低于其他处理,T3~T5 处理显著高于 T1 和 T2 处理;大叶 39 以 T4 处理最高,T5 处理最低,T4 处理显著高于 CK 和 T5 处理;早秋 615 以 CK 和 T2 处理最高,T5 处理最低,CK、T1 和 T2 处理显著高于 T5 处理。在平均丛质量方面,夏福 2 号以 T1 处理最高,显著高于 CK 和其他处理,T5 处理最低;大叶 39 以 CK 最高,T4 处理最低,显著低于 CK 和 T1、T2 处

表 1 不同处理下 3 种平菇菌丝生长状况

Table 1 Mycelium growth status of three *Pleurotus ostreatus* varieties under different treatments

菌种 Strain	处理 Treatment	菌丝生长速度 Mycelium growth rate /(cm·d ⁻¹)	满袋时间 Time of full bag/d	菌丝长势 Mycelium growth vigor	接种至首次采收的时间 Time from inoculation to first harvest/d
夏福 2 号 Xiafu 2	CK	0.88±0.17 a	19.33±3.21 b	+++	28.33±1.60 d
	T1	0.60±0.18 b	25.67±6.35 a	+++	34.50±2.17 c
	T2	0.57±0.03 b	26.33±0.58 a	+++	35.17±2.48 c
	T3	0.51±0.07 b	28.67±3.79 a	++	38.83±0.98 ab
	T4	0.54±0.04 b	28.67±2.31 a	++	37.33±0.82 b
	T5	0.52±0.02 b	30.33±0.58 a	++	40.17±1.33 a
大叶 39 Daye 39	CK	0.87±0.16 a	19.67±2.89 c	+++	29.33±1.90 d
	T1	0.64±0.02 b	22.33±0.58 b	+++	33.17±4.54 c
	T2	0.56±0.02 b	26.33±0.58 b	+++	31.33±1.37 cd
	T3	0.52±0.11 b	29.00±5.20 a	++	36.33±1.51 b
	T4	0.50±0.01 b	29.67±0.58 a	++	40.00±2.10 a
	T5	0.57±0.05 b	27.67±2.08 a	++	41.67±2.42 a
早秋 615 Zaoqiu 615	CK	0.93±0.17 a	19.33±3.21 c	+++	27.17±0.41 c
	T1	0.59±0.12 b	24.67±4.62 b	+++	33.83±2.71 b
	T2	0.54±0.01 b	26.00±1.00 b	+++	33.00±3.52 b
	T3	0.43±0.03 b	34.67±0.58 a	++	44.00±1.26 a
	T4	0.50±0.10 b	30.33±4.51 ab	++	41.83±1.94 a
	T5	0.49±0.03 b	30.33±0.58 ab	++	42.33±0.52 a

注:同列不同小写字母表示同一平菇品种的不同处理在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: Different small letters in the same column indicate significant difference among treatments for the same strain at the 0.05 level. The same below.

表 2 不同处理下 3 种平菇的子实体农艺性状

Table 2 Agronomic traits of three *Pleurotus ostreatus* varieties fruiting body under different treatments

菌种 Strain	处理 Treat- ment	平均单棒出菇数 Average number of clusters per bag	平均丛质量 Average cluster mass/kg	菌盖纵径 Vertical diameter of cap/cm	菌盖横径 Horizontal diameter of cap/cm	菌盖厚度 Thickness of cap/mm	菌柄长度 Length of stipe/cm	菌柄直径 Diameter of stipe/mm
夏福 2 号 Xiafu 2	CK	10.50±1.84 ab	0.141±0.02 bc	8.57±1.14 a	9.48±1.97 a	11.61±2.76 ab	2.52±0.38 ab	10.92±3.01 ab
	T1	6.83±1.72 c	0.198±0.03 a	7.47±0.83 a	8.57±1.62 a	13.87±1.66 a	2.88±0.76 a	12.66±2.00 a
	T2	9.50±1.22 b	0.160±0.01 b	7.43±1.37 a	7.72±2.02 a	10.98±2.19 b	1.77±0.68 b	9.06±2.08 b
	T3	12.00±1.10 a	0.130±0.02 c	9.30±1.08 a	9.98±1.18 a	12.16±1.62 ab	3.02±0.95 a	10.60±1.92 ab
	T4	11.67±2.66 a	0.132±0.02 c	7.97±0.89 a	8.20±0.46 a	9.56±1.83 b	2.48±0.81 ab	10.59±1.33 ab
	T5	11.67±1.63 a	0.093±0.01 c	7.57±0.79 a	8.92±1.29 a	10.16±1.07 b	1.93±0.44 b	9.89±1.83 b
大叶 39 Daye 39	CK	10.00±1.26 b	0.159±0.01 a	8.52±1.15 ab	8.95±1.50 b	12.21±2.31 a	3.35±0.72 a	9.69±2.19 bc
	T1	10.33±1.51 ab	0.156±0.02 a	8.88±1.58 ab	9.27±1.49 b	11.83±1.43 a	3.50±1.63 a	11.99±2.15 ab
	T2	12.00±2.61 ab	0.155±0.02 a	7.88±1.05 bc	9.50±1.84 ab	12.89±1.79 a	1.70±0.47 b	10.81±0.87 bc
	T3	12.00±1.05 ab	0.135±0.03 ab	6.78±0.67 c	8.13±0.65 b	9.24±0.45 b	1.52±0.42 b	8.89±0.61 c
	T4	12.67±2.16 a	0.118±0.01 b	8.33±1.08 bc	9.43±1.30 ab	12.10±1.53 a	1.97±0.57 b	11.77±2.07 ab
	T5	9.83±1.94 b	0.131±0.03 ab	9.70±1.19 a	11.17±1.47 a	12.14±0.96 a	3.12±1.02 a	13.18±2.32 a
早秋 615 Zaoqiu 615	CK	10.83±1.17 a	0.133±0.02 b	8.07±0.68 a	8.07±2.06 a	9.68±0.85 b	3.50±0.95 a	9.55±1.82 c
	T1	9.83±2.86 a	0.165±0.03 a	7.37±1.01 a	8.03±1.84 a	10.78±1.98 b	3.78±2.08 a	10.71±0.86 bc
	T2	10.83±2.64 a	0.170±0.03 a	7.85±0.93 a	9.92±1.66 a	14.05±3.30 a	2.48±1.06 a	13.40±2.08 a
	T3	8.17±0.75 ab	0.168±0.02 a	7.95±0.94 a	8.95±1.85 a	11.21±1.41 b	2.73±0.90 a	12.23±3.01 ab
	T4	8.83±3.13 ab	0.147±0.04 a	8.60±1.21 a	9.55±1.30 a	11.21±1.41 b	2.87±0.88 a	11.16±0.39 bc
	T5	6.67±1.51 b	0.148±0.03 a	8.43±0.82 a	9.60±0.62 a	11.40±1.01 b	2.88±0.47 a	9.80±1.10 c

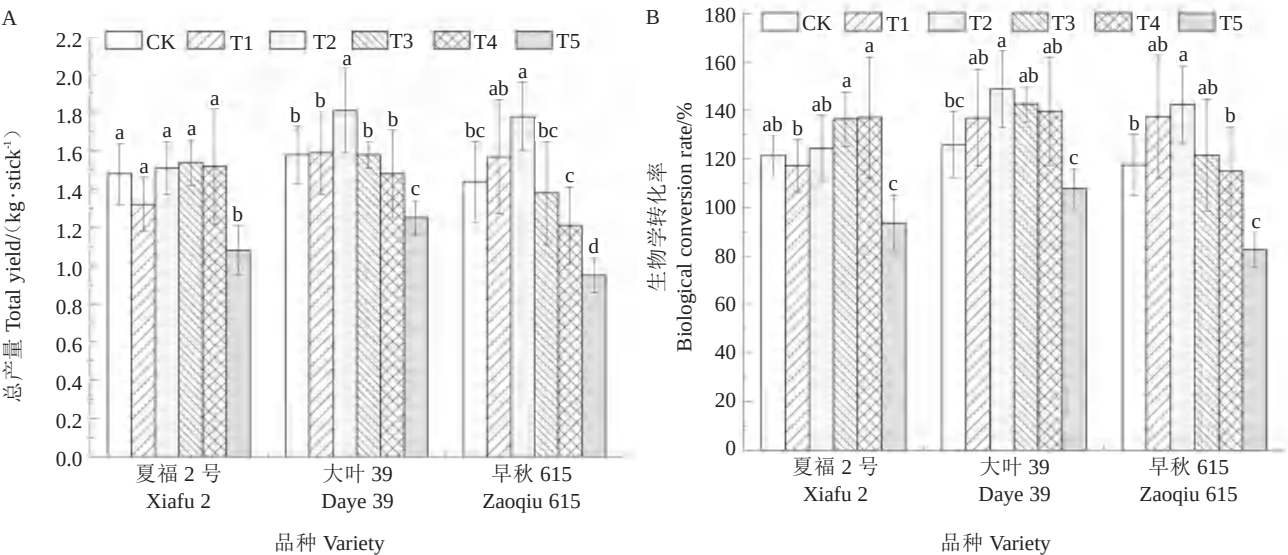
理;早秋 615 以 T2 处理最高,CK 最低,各处理均显著高于 CK。在菌盖纵径方面,夏福 2 号和早秋 615 各处理间均不显著,大叶 39 以 T5 处理最大,T3 处理最小,T5 处理显著大于 T2、T3 和 T4 处理。在菌盖横径方面,夏福 2 号和早秋 615 各处理间均不显著,大叶 39 以 T5 处理最大,T3 处理最小,T5 处理显著大于 CK、T1 和 T3 处理。在菌盖厚度方面,夏福 2 号以 T1 处理最大,显著大于 T2、T4 和 T5 处理;大叶 39 以 T2 处理最大,T3 处理最小,T3 处理显著低于其他处理;早秋 615 以 T2 处理最大,显著大于其他处理。在菌柄长度方面,夏福 2 号以 T3 处理最大,T1 和 T3 处理显著大于 T2 和 T5 处理;大叶 39 以 T1 处理最大,CK、T1 和 T5 处理显著大于 T2~T4 处理;早秋 615 各处理间差异不显著。在菌柄直径方面,夏福 2 号以 T1 处理最大,显著大于 T2 和 T5 处理;大叶 39 以 T5 处理最大,显著大于 CK、T2 和 T3 处理;早秋 615 以 T2 处理最大,显著大于 CK、T1、T4 和 T5 处理。综上,同一品种在不同处理下,基质配方差异导致子实体大小、形态呈现显著差异。

2.3 不同处理下3种平菇的产量及生物学转化率

2.3.1 不同处理下 3 种平菇单棒的总产量及总生物学转化率 如图 1 所示,不同花椒枝屑处理对 3 种平菇单棒总产量和生物学转化率产生了显著影响。从总产量看,3 种平菇在各处理下表现出品种间差异,夏福 2 号总产量范围为 1.08~1.54 kg·棒⁻¹,

其中 T3 处理最高,T5 处理最低,T3 处理较 T5 处理显著提高 42.59%,T5 处理显著低于其他处理;大叶 39 总产量范围为 1.25~1.81 kg·棒⁻¹,依次为 T2>T1>CK>T3>T4>T5,T2 处理产量最高,显著高于其他处理,较 T5 处理显著提高 44.80%;早秋 615 总产量为 0.95~1.78 kg·棒⁻¹,依次为 T2>T1>CK>T3>T4>T5,T5 处理显著低于其他处理,T2 处理较 T5 处理显著提高 87.37%。从生物学转化率看,夏福 2 号生物学转化率为 93.72%~137.19%,T4>T3>T2>CK>T1>T5,T5 处理显著低于其他处理,T4 处理较 T5 处理显著提高 46.38%;大叶 39 生物学转化率为 107.86%~148.84%,T2>T3>T4>T1>CK>T5,T5 处理显著低于 T1~T4 处理,T2 处理较 T5 处理显著提高 37.99%;早秋 615 生物学转化率为 82.55%~142.65%,T2>T1>T3>CK>T4>T5,T5 处理显著低于其他处理,T2 处理较 T5 处理显著提高 72.80%。3 种平菇的总产量和生物学转化率均在 T5 处理下最低,除夏福 2 号外,大叶 39 和早秋 615 的总产量和生物学转化率均在 T2 处理下最高,表明大叶 39 和早秋 615 在 T2 栽培处理下能获得较高的产量和生物学转化率。

2.3.2 不同处理下 3 种平菇的前 4 潮产量 如图 2 所示,不同花椒枝屑处理对 3 种平菇前 4 潮产量影响显著。第 1 潮产量方面,夏福 2 号为 0.48~0.57 kg·棒⁻¹,各处理间差异不显著;大叶 39 为 0.52~0.66 kg·棒⁻¹,以 CK 最高,显著高于 T1、T3 和



注:不同小写字母表示同一平菇品种的不同处理在 0.05 水平差异显著。下同。
Note: Different small letters indicate significant difference among treatments for the same strain at the 0.05 level. The same below.
图 1 不同处理下 3 种平菇单棒的总产量(A)和生物学转化率(B)

Fig. 1 Total yield(A)and biological conversion rate(B)of three *Pleurotus ostreatus* varieties under different treatments

T4 处理;早秋 615 为 $0.46\sim 0.66\text{ kg}\cdot\text{棒}^{-1}$,以 T2 处理最高,T1 处理最低,T2 处理显著高于 T1 处理。第 2 潮产量方面,夏福 2 号为 $0.25\sim 0.41\text{ kg}\cdot\text{棒}^{-1}$,T1 处理最高,T5 处理最低,T5 处理显著低于 T1 和 T3 处理;大叶 39 为 $0.28\sim 0.43\text{ kg}\cdot\text{棒}^{-1}$,以 T2 处理最高,T5 处理最低,T2 处理显著高于 T4 和 T5 处理;早秋 615 为 $0.21\sim 0.46\text{ kg}\cdot\text{棒}^{-1}$,以 T2 处理最高,T5 处理最低,T2 处理显著高于 T5 处理。第 3 潮产量方面,夏福 2 号为 $0.15\sim 0.28\text{ kg}\cdot\text{棒}^{-1}$,CK 和 T2 处理最

高,T5 处理最低,T5 处理显著低于 CK、T1 和 T2 处理;大叶 39 为 $0.18\sim 0.31\text{ kg}\cdot\text{棒}^{-1}$,T1 和 T2 处理最高,T5 处理最低,T5 处理显著低于 CK 和 T1~T3 处理;早秋 615 为 $0.09\sim 0.31\text{ kg}\cdot\text{棒}^{-1}$,以 T2 处理最高,T5 处理最低,T5 处理显著低于 CK 和 T1~T3 处理。第 4 潮产量方面,夏福 2 号为 $0.09\sim 0.22\text{ kg}\cdot\text{棒}^{-1}$,T2 处理最高,T5 处理最低,T2 处理显著高于 T1 和 T5 处理;大叶 39 为 $0.10\sim 0.24\text{ kg}\cdot\text{棒}^{-1}$,以 T2 处理最高,T5 处理最低,T5 处理显著低于 T1 和 T2 处理;

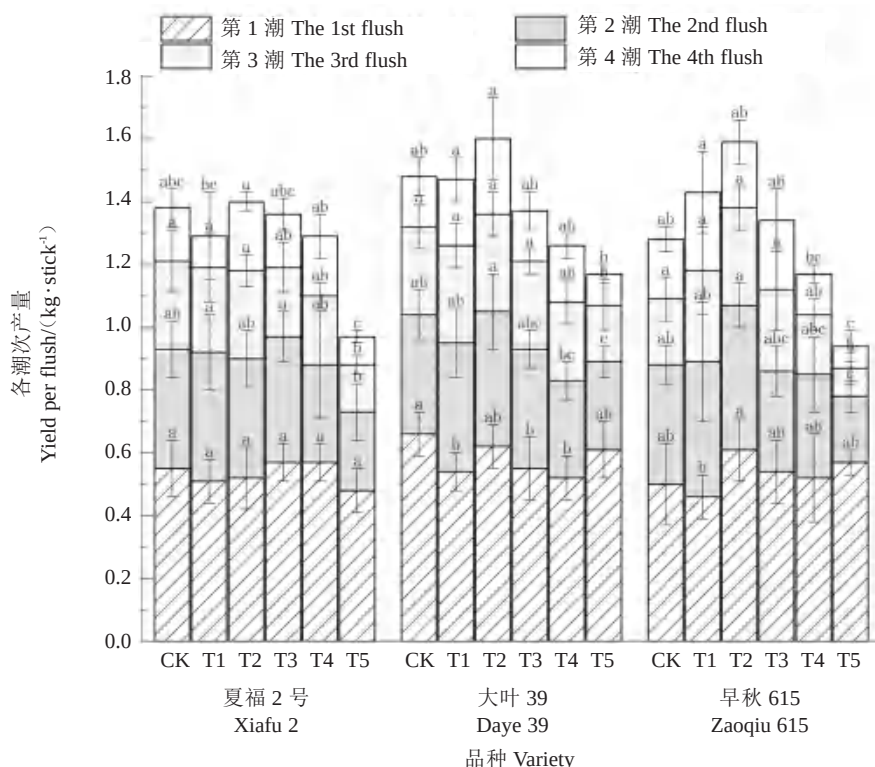


图 2 不同处理下 3 种平菇的前 4 潮次产量

Fig. 2 Yield of the first four flushes of three *Pleurotus ostreatus* varieties under different treatments

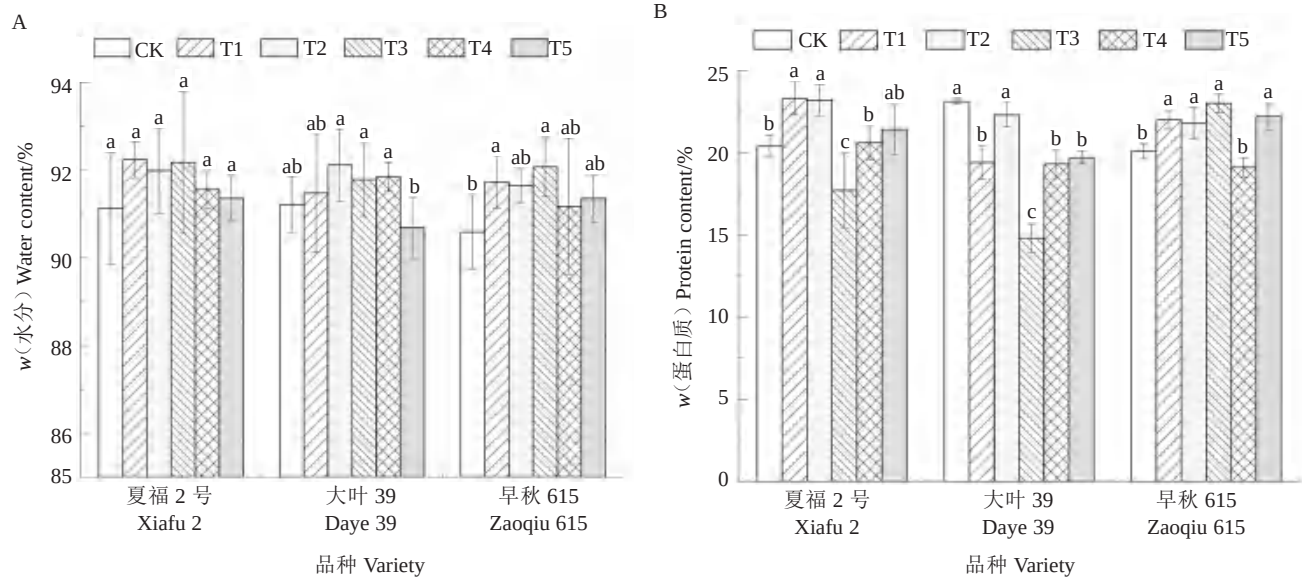
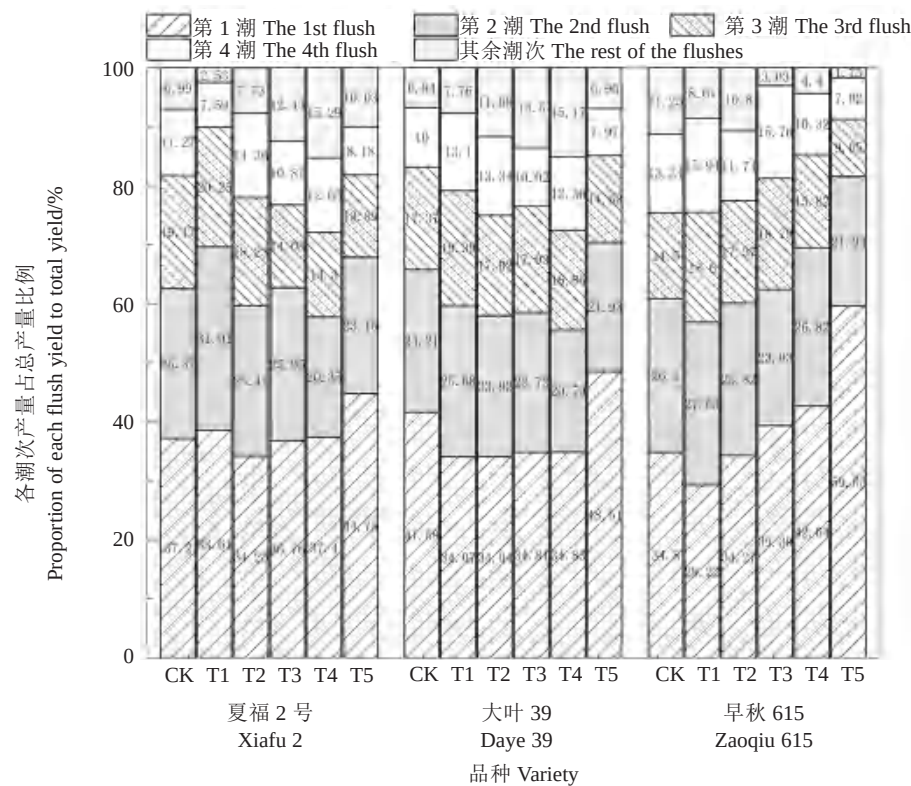
早秋 615 为 $0.07\sim 0.25\text{ kg}\cdot\text{棒}^{-1}$,以 T1 处理最高,T5 处理最低,T1 处理显著高于 T4 和 T5 处理。

如图 3 所示,不同花椒枝屑处理栽培 3 种平菇各潮次产量分布特征不同。夏福 2 号各处理间第 1 潮产量占总产量的 $34.25\%\sim 44.75\%$,第 2 潮产量占总产量的 $20.35\%\sim 31.01\%$,第 3 潮产量占总产量的 $13.89\%\sim 20.25\%$,第 4 潮产量占总产量的 $7.59\%\sim 14.36\%$,其余潮次占 $2.53\%\sim 15.29\%$ 。大叶 39 各处理间第 1 潮产量占总产量的 $34.04\%\sim 48.51\%$,第 2 潮产量占总产量的 $20.79\%\sim 25.68\%$,第 3 潮产量占总产量的 $14.62\%\sim 19.39\%$,第 4 潮产量占总产量的 $7.97\%\sim 13.34\%$,其余潮次占 $6.84\%\sim 15.17\%$ 。早秋 615 各处理间第 1 潮产量占总产量的 $29.22\%\sim 59.65\%$,第 2 潮产量占总产量的 $21.93\%\sim 27.63\%$,

第 3 潮产量占总产量的 $9.65\%\sim 18.79\%$,第 4 潮产量占总产量的 $7.02\%\sim 15.94\%$,其余潮次占 $1.75\%\sim 11.25\%$ 。夏福 2 号前 4 潮菇的产量占总产量的 $84.71\%\sim 97.47\%$,大叶 39 前 4 潮产量占总产量的 $84.83\%\sim 93.16\%$,早秋 615 前 4 潮产量占总产量的 $88.75\%\sim 98.25\%$ 。3 种平菇各潮次产量呈现第 1 潮>第 2 潮>第 3 潮>第 4 潮递减的规律,且前 4 潮产量占总产量的 84.71% 以上,表明平菇产量主要集中在前 4 潮。

2.4 不同处理下 3 种平菇子实体的营养成分含量分析

2.4.1 不同处理下 3 种平菇子实体的水分和蛋白质含量 如图 4 所示,3 种平菇不同处理下子实体水分含量(w,后同)在 $90.69\%\sim 92.24\%$ 之间,夏福 2



号水分含量为 91.36%~92.24%，各处理间差异不显著；大叶 39 水分含量为 90.69%~92.12%，T2~T4 处理显著高于 T5 处理；早秋 615 水分含量为 91.18%~92.08%，CK 显著低于 T1 和 T3 处理，平菇子实体水分含量受环境湿度、培养料水分含量及温度等因素共同影响。3 种平菇不同处理下蛋白质含

量存在显著差异，夏福 2 号蛋白质含量为 17.70%~23.20%，T1>T2>T5>T4>CK>T3，T1 处理最高，T3 处理最低且显著低于其他处理；大叶 39 蛋白质含量为 14.80%~23.10%，CK>T2>T5>T1>T4>T3，T3 处理显著低于其他处理；早秋 615 蛋白质含量为 19.10%~23.00%，T3>T5>T1>T2>CK>T4，

CK 和 T4 处理显著低于其他处理。

2.4.2 不同处理下3种平菇子实体的氨基酸含量 氨基酸含量是评估食用菌品质和营养价值的重要指标。不同处理栽培的平菇子实体总氨基酸(TAA)组成及含量见图5。各处理下平菇子实体均含有17种氨基酸,其中亮氨酸(Leu)、苏氨酸(Thr)、赖氨酸(Lys)、缬氨酸(Val)、蛋氨酸(Met)、异

亮氨酸(Ile)、苯丙氨酸(Phe)为7种人体必需氨基酸(EAA);精氨酸(Arg)、天冬氨酸(Asp)、谷氨酸(Glu)、丝氨酸(Ser)、丙氨酸(Ala)、甘氨酸(Gly)、脯氨酸(Pro)、半胱氨酸(Cys)、酪氨酸(Tyr)、组氨酸(His)为10种非必需氨基酸(NEAA)。3种平菇在所有处理下,子实体中含量排名前4的氨基酸种类均保持一致,均为谷氨酸>天冬氨酸>亮氨酸>丙

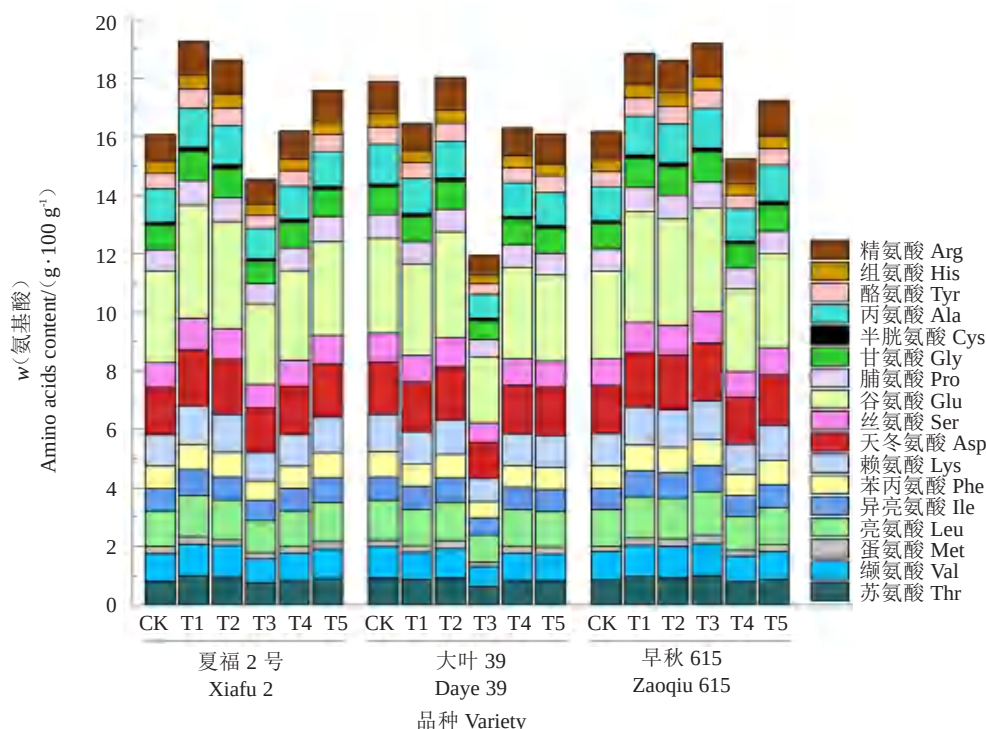


图5 不同处理下平菇子实体氨基酸组成及含量

Fig. 5 Amino acid composition and content in fruiting bodies of three *Pleurotus ostreatus* varieties under different treatments

氨酸,子实体中含量最低的均为半胱氨酸,氨基酸组成种类稳定,均未受到栽培处理的影响。

如图6所示,3种平菇在所有处理下的子实体中总氨基酸、必需氨基酸、非必需氨基酸含量存在明显差异,其中夏福2号总氨基酸含量范围为14.556~19.256 g·100 g⁻¹, T1>T2>T5>T4>CK>T3,大叶39总氨基酸含量范围为11.945~18.019 g·100 g⁻¹, T2>CK>T1>T4>T5>T3,早秋615总氨基酸含量范围为15.250~19.196 g·100 g⁻¹, T3>T1>T2>T5>CK>T4;夏福2号必需氨基酸含量范围为5.202~6.800 g·100 g⁻¹,大叶39必需氨基酸含量范围为4.324~6.503 g·100 g⁻¹,早秋615必需氨基酸含量范围为5.498~6.97 g·100 g⁻¹;夏福2号非必需氨基酸含量范围为9.354~12.456 g·100 g⁻¹,大叶39非必需氨基酸含量范围为7.621~

11.689 g·100 g⁻¹,早秋615非必需氨基酸含量范围为9.752~12.226 g·100 g⁻¹。必需氨基酸与总氨基酸的比值(EAA/TAA)和必需氨基酸与非必需氨基酸的比值(EAA/NEAA)也是评价蛋白质营养品质的重要指标,其中夏福2号的EAA/TAA为34.92%~36.46%,EAA/NEAA为53.65%~57.39%;大叶39的EAA/TAA为35.13%~36.36%,EAA/NEAA为54.15%~57.14%;早秋615的EAA/TAA为35.65%~36.31%,EAA/NEAA为55.40%~57.01%。

氨基酸作为平菇子实体中关键的非挥发性滋味物质,是赋予其独特风味的物质基础。呈味氨基酸(DAA)根据味觉特性可以划分为:鲜味氨基酸(UAA)、甜味氨基酸(SAA)和苦味氨基酸(BAA)三类。其中鲜味氨基酸由天冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸、精氨酸组成,甜味氨基酸由丝氨酸、苏氨

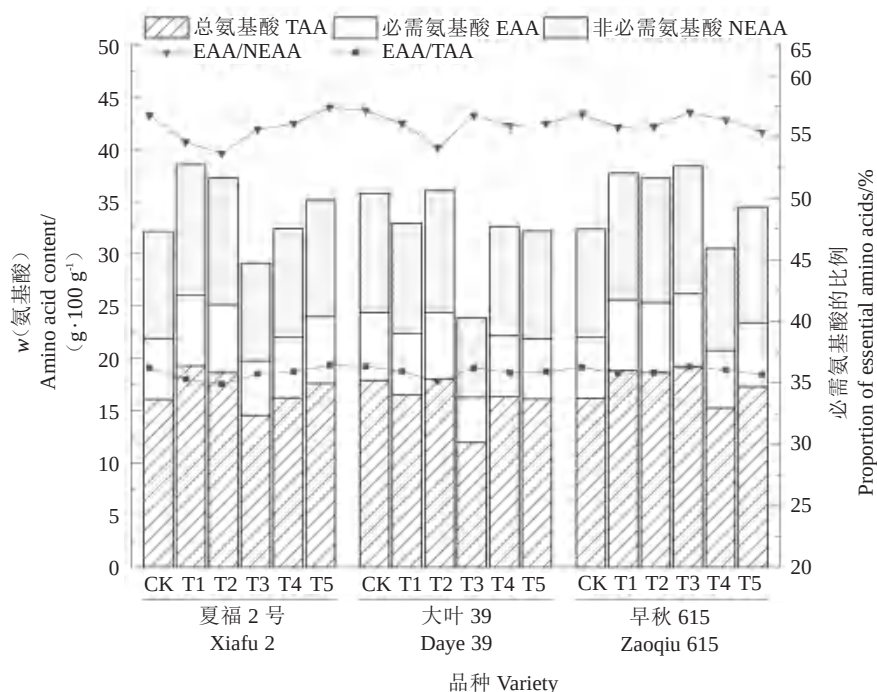


图 6 不同处理下平菇子实体氨基酸含量组成

Fig. 6 Amino acid composition of fruiting body in three *Pleurotus ostreatus* varieties under different treatments

酸、丙氨酸、甘氨酸、脯氨酸、赖氨酸组成,苦味氨基酸由亮氨酸、异亮氨酸、蛋氨酸、缬氨酸、精氨酸、苯丙氨酸和组氨酸组成。如图 7 所示,3 种平菇在不同处理下子实体中各类呈味氨基酸含量存在一定差异。从鲜味氨基酸含量看,夏福 2 号范围为

6.957~9.310 g·100 g⁻¹,T1>T2>T5>T4>CK>T3;大叶 39 范围为 5.613~8.732 g·100 g⁻¹,T2>CK>T1>T4>T5>T3;早秋 615 范围为 7.641~9.051 g·100 g⁻¹,T1>T3>T2>T5>CK>T4。从甜味氨基酸含量看,夏福 2 号范围为 5.004~6.546 g·100 g⁻¹,

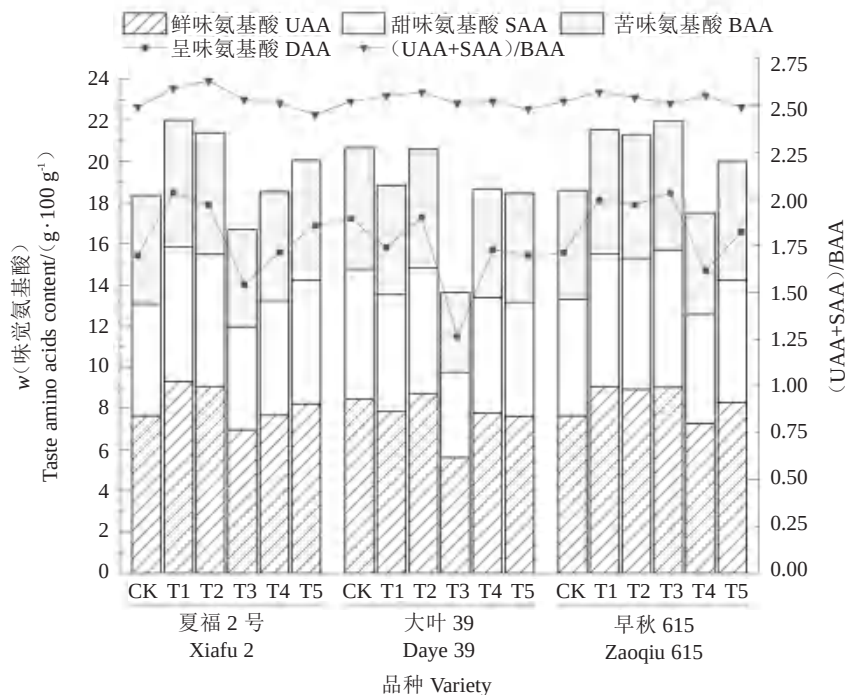


图 7 不同处理下平菇子实体呈味氨基酸组成及含量

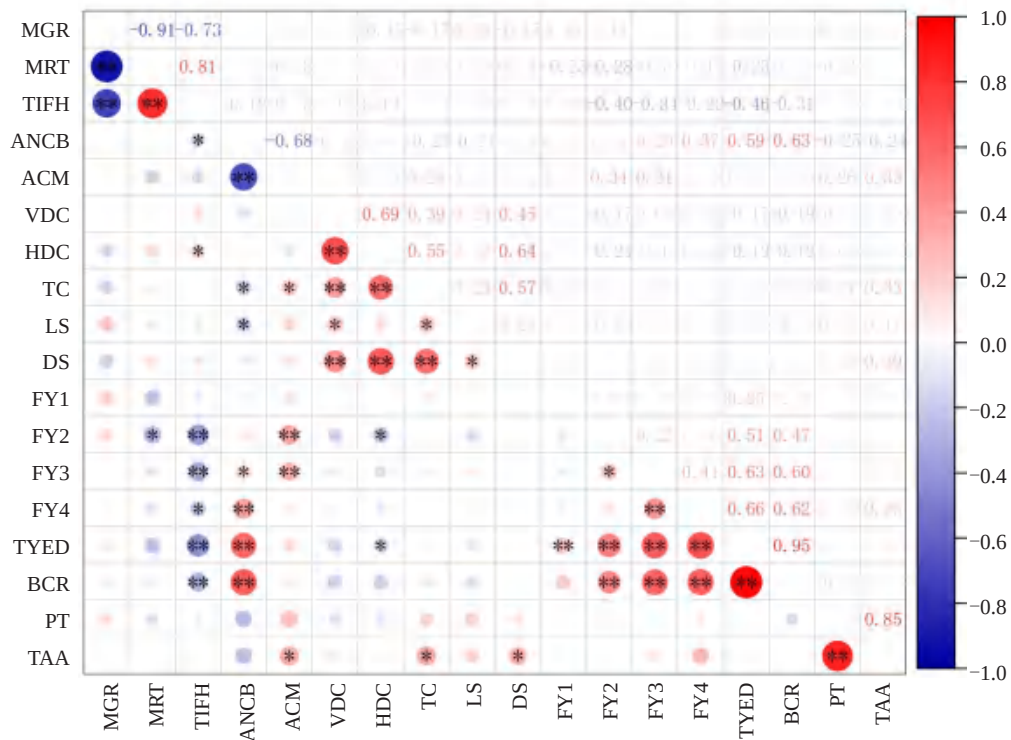
Fig. 7 Composition and content of taste-active amino acids in fruiting body of three *Pleurotus ostreatus* varieties under different treatments

T1>T2>T5>T4>CK>T3;大叶 39 范围为 4.139~6.320 g·100 g⁻¹, CK>T2>T1>T4>T5>T3; 早秋 615 范围为 5.306~6.671 g·100 g⁻¹, T3>T1>T2>T5>CK>T4。从苦味氨基酸含量看,夏福 2 号范围为 4.725~6.132 g·100 g⁻¹, T1>T2>T5>T4>CK>T3;大叶 39 范围为 3.881~5.872 g·100 g⁻¹, CK>T2>T4>T1>T5>T3; 早秋 615 范围为 4.925~6.261 g·100 g⁻¹, T3>T1>T2>T5>CK>T4。从呈味氨基酸含量看,夏福 2 号范围为 14.019~18.478 g·100 g⁻¹, T1>T2>T5>T4>CK>T3;大叶 39 范围为 11.500~17.283 g·100 g⁻¹, T2>CK>T1>T4>T5>T3; 早秋 615 范围为 14.691~18.442 g·100 g⁻¹, T3>T1>T2>T5>CK>T4。夏福 2 号在不同处理下(UAA+SAA)/BAA 为 2.45~2.63,大叶 39 在不同处理下(UAA+SAA)/BAA 为 2.48~2.57,早秋 615 在不同处理下(UAA+SAA)/BAA 为 2.49~2.57,说明平菇

子实体中以鲜味和甜味氨基酸为主。

2.5 不同处理下3种平菇生长和品质的综合评价

2.5.1 相关性分析 对3种平菇的生长指标和品质指标进行 Pearson 相关性分析,如图 8 所示,各指标间存在复杂且显著的相关关系:菌丝生长速度与满袋时间、接种至首次采收的时间呈极显著负相关;满袋时间与接种至首次采收的时间呈极显著正相关,而与第 2 潮产量呈显著负相关;接种至首次采收的时间与菌盖横径呈显著正相关,而与平均单棒出菇数呈显著负相关,与第 2、3、4 潮产量、总产量及生物学转化率呈显著或极显著负相关;平均单棒出菇数与平均丛质量呈极显著负相关,与菌盖厚度、菌柄长度呈显著负相关,与第 3 潮产量呈显著正相关,与第 4 潮产量、总产量、生物学转化率呈极显著正相关;平均丛质量与菌盖厚度、总氨基酸含量呈显著正相关,与第 2、3 潮产量呈极显著正相



注:MGR. 菌丝生长速度;MRT. 满袋时间;TIFH. 接种至首次采收的时间;ANCB. 平均单棒出菇数;ACM. 平均丛质量;VDC. 菌盖纵径;HDC. 菌盖横径;TC. 菌盖厚度;LS. 菌柄长度;DS. 菌柄直径;FY1. 第 1 潮产量;FY2. 第 2 潮产量;FY3. 第 3 潮产量;FY4. 第 4 潮产量;TYED. 总产量;BCR. 生物学转化率;PT. 蛋白质含量;TAA. 总氨基酸含量。*表示在 0.05 水平显著相关;**表示在 0.01 水平极显著相关。

Note: MGR. Mycelium growth rate; MRT. Time of full bag; TIFH. Time from inoculation to first harvest; ANCB. Average number of clusters per bag; ACM. Average cluster mass; VDC. Vertical diameter of cap; HDC. Horizontal diameter of cap; TC. Thickness of cap; LS. Length of stipe; DS. Diameter of stipe; FY1. The 1st flush yield; FY2. The 2nd flush yield; FY3. The 3rd flush yield; FY4. The 4th flush yield; TYED. Total yield; BCR. Biological conversion rate; PT. Protein content; TAA. Total amino acids content. * represents significant correlation at 0.05 level; ** represents extremely significant correlation at 0.01 level.

图 8 Pearson 相关性分析
Fig. 8 Pearson correlation analysis

关;菌盖纵径与菌盖直径、菌盖厚度、菌柄直径呈极显著正相关,与菌柄长度呈显著正相关;菌盖横径与菌盖厚度、菌柄直径呈极显著正相关,与第 2 潮产量、总产量呈显著负相关;菌盖厚度与菌柄长度、总氨基酸含量呈显著正相关,与菌柄直径呈极显著正相关;菌柄长度与菌柄直径呈显著正相关;第 1 潮产量与总产量呈极显著正相关;第 2 潮产量与第 3 潮产量呈显著正相关,与总产量及生物学转化率呈极显著正相关;第 3 潮产量与第 4 潮产量、总产量、生物学转化率呈极显著正相关;第 4 潮产量与总产量、生物学转化率呈极显著正相关;总产量与生物学转化率呈极显著正相关;蛋白质含量与总氨基酸含量呈极显著正相关。综合以上数据,平菇菌丝生长、农艺性状、产量与品质之间存在复杂的正负相关关系,仅依靠单一指标难以全面、客观地评价其综合表现,因此,有必要构建多指标综合评价体系来准确评价并筛选花椒枝屑栽培平菇的适宜品种及配方。

2.5.2 主成分分析 为保证各指标数据的独立性,通过方差膨胀因子(VIF)对影响 3 种平菇的生长和品质的 18 个指标进行共线性检验,当依次剔除总产量、平均单棒出菇数、满袋时间后其他指标具有独立性(VIF<10)^[22]。对剩余 15 个指标进行 KMO 检验和 Bartlett 球形度检验,选择提取因子最低的第 1 潮产量,剔除该指标后再次进行检验,KMO 检验系数为 0.522,近似卡方为 427.311,显著性为 0,

说明主成分分析可评价剩余 14 个指标^[23]。

对 3 种平菇的 14 个生长和品质指标进行主成分分析,结果如表 3 所示,提取特征值大于 1 的 5 个主成分,累计贡献率达 78.231%,表明这 5 个主成分能反映平菇 14 个指标的大部分信息。第 1 主成分中,菌盖纵径和菌盖横径具有较大的正载荷,而第 2 潮产量、第 3 潮产量和生物学转化率具有较大的负载荷,反映菌盖形态和产量之间的权衡关系;第 2 主成分中,平均丛质量、菌盖厚度、菌柄直径和总氨基酸含量具有较大的正载荷,反映子实体形态与营养品质的协同关系;第 3 主成分中,生物学转化率具有较大的正载荷,而蛋白质含量、总氨基酸含量具有较大的负载荷,反映生物学转化率与营养品质之间的权衡关系;第 4 主成分中,菌丝生长速度具有较大的正载荷,而接种至首次采收的时间具有较大的负载荷,反映菌丝生长与生长周期之间的负相关关系;第 5 主成分中,菌柄长度与第 4 潮产量具有较大的正载荷,第 2 潮产量具有较大的负载荷,反映不同潮次之间的分配关系。

2.5.3 隶属函数法评价 采用隶属函数对平菇生长和品质指标进行综合评价,接种至首次采收的时间为逆向指标,其他指标为正向指标,得到综合隶属函数值(D),并根据大小进行排名。由表 4 可知,3 种平菇在不同花椒枝屑栽培处理下综合表现存在明显差异,夏福 2 号在 CK 和 T1 处理下表现最优,依次为 CK=T1(0.67)>T3(0.52)>T2(0.49)>T4

表 3 3 种平菇生长和品质指标的主成分分析

Table 3 Principal component analysis of growth and quality indicators of three <i>Pleurotus ostreatus</i> varieties					
指标 Indicator	F1	F2	F3	F4	F5
菌丝生长速度 Mycelium growth rate	-0.309	0.039	-0.483	0.719	0.222
接种至首次采收的时间 Time from inoculation to first harvest	0.652	-0.142	0.293	-0.592	0.102
平均丛质量 Average cluster mass	-0.203	0.680	0.068	0.045	-0.190
菌盖纵径 Vertical diameter of cap	0.668	0.217	0.253	0.377	0.196
菌盖横径 Horizontal diameter of cap	0.815	0.245	0.247	0.264	-0.055
菌盖厚度 Thickness of cap	0.470	0.610	0.108	0.071	-0.217
菌柄长度 Length of stipe	0.318	0.364	-0.202	0.305	0.496
菌柄直径 Diameter of stipe	0.566	0.574	0.160	0.098	-0.206
第 2 潮产量 The 2nd flush yield	-0.569	0.304	0.126	0.289	-0.554
第 3 潮产量 The 3rd flush yield	-0.533	0.483	0.434	-0.043	0.063
第 4 潮产量 The 4th flush yield	-0.424	0.466	0.304	-0.165	0.570
生物学转化率 Biological conversion rate	-0.668	0.290	0.532	-0.045	0.152
蛋白质含量 Protein content	-0.026	0.542	-0.688	-0.340	-0.007
总氨基酸含量 Total amino acids content	0.007	0.694	-0.514	-0.423	0.011
特征值 Eigenvalue	3.550	2.827	1.846	1.598	1.132
贡献率 Contribution rate/%	25.356	20.193	13.183	1.415	8.084
累计贡献率 Cumulative contribution rate/%	25.356	45.549	58.732	70.147	78.231

表 4 利用隶属函数法对 3 种平菇的综合评价

Table 4 Comprehensive evaluation of three *Pleurotus ostreatus* varieties by the membership function method

夏福 2 号 Xiafu 2			大叶 39 Daye 39			早秋 615 Zaoqiu 615		
处理 Treatment	D	排名 Rank	处理 Treatment	D	排名 Rank	处理 Treatment	D	排名 Rank
CK	0.67	1	CK	0.65	3	CK	0.41	4
T1	0.67	1	T1	0.70	2	T1	0.57	3
T2	0.49	3	T2	0.75	1	T2	0.83	1
T3	0.52	2	T3	0.21	6	T3	0.58	2
T4	0.41	4	T4	0.44	5	T4	0.40	5
T5	0.18	5	T5	0.47	4	T5	0.29	6

(0.41)>T5(0.18);大叶 39 在 T2 处理下最优,依次为 T2(0.75)>T1(0.70)>CK(0.65)>T5(0.47)>T4(0.44)>T3(0.21);早秋 615 在 T2 处理下最优,依次为 T2(0.83)>T3(0.58)>T1(0.57)>CK(0.41)>T4(0.40)>T5(0.29)。综合来看,夏福 2 号(D=0.67)在 T1 处理下和 CK 综合表现最优,大叶 39(D=0.75)和早秋 615(D=0.83)均在 T2 处理下综合表现最优,T2 处理可作为花椒枝屑栽培的适宜基质配方,选择早秋 615 或大叶 39 品种进行栽培。

3 讨论与结论

平菇代料栽培常见原料有棉籽壳、玉米芯、农作物秸秆、木屑等,利用农林修剪废弃物开发新型栽培基质势所必然,也是实现废弃物资源化高效利用的重要途径^[24]。本研究以花椒枝屑替代玉米芯作为平菇栽培基质,所有处理下 3 种平菇均能正常生长并出菇,表明花椒枝屑具备栽培食用菌的应用潜力。

不同品种在不同花椒枝屑栽培处理下存在显著差异,低比例替代(T1、T2)表现优于高比例替代(T3~T5),夏福 2 号在 CK 和 T1 处理时综合表现较好,大叶 39 和早秋 615 在 T2 处理下综合表现最优。李晓林等^[25]利用花椒枝屑栽培金针菇时也发现,45%花椒枝屑时,生物学效率为 81.20%,100%花椒枝屑时,生物学效率为 28.60%,随花椒枝屑比例增加,产量及生物学转化率降低,这一结果与本研究结果类似。其他研究表明,葡萄枝屑的最优替代比例为 48%,可增产 7.7%^[26];杨木屑添加比例为 30%最优,产量比对照提高 4.21%^[27];苹果枝屑添加 50%时产量最高,前 3 潮生物学转化率为 91.7%^[28],均与本研究结果类似。

低比例花椒枝屑处理(T1、T2)下菌丝生长较快,而高比例处理(T3~T5)下菌丝生长明显减缓,满袋时间较 CK 延长 11~15 d,接种至首次采收的时间

较 CK 延长 11~16 d。分析其原因,可能与花椒各部位含生物碱、挥发油、酰胺等多种活性成分有关^[29],低浓度时,这些物质抑制菌丝的能力弱,高浓度时,抑菌物质浓度超过菌丝耐受范围,直接抑制菌丝活性。

基质碳氮比(C/N)是影响菌丝生长发育的关键因素之一。本研究中,玉米芯 C/N 约为 68:1;花椒枝屑 C/N 约为 49:1,各处理中 CK(纯玉米芯)C/N 最高,随花椒枝屑比例增加,基质 C/N 逐渐下降,纯花椒枝屑 C/N 最低。T2 处理(40%花椒枝屑+60%玉米芯)在各处理中表现最优,该配比在碳氮平衡、抑菌物质浓度之间取得了最优平衡,适宜的 C/N 有利于菌丝对营养物质的吸收和转运,从而促进子实体分化和发育。

本研究中,T5 处理(100%花椒枝屑)在各品种和处理中产量和生物学转化率均为最低,第 1 潮菇产量占总产量的 49.7%~52.1%,后续潮次逐级递减。除抑菌物质的持续抑制外,推测与碳源过早耗竭有关。高比例花椒枝屑基质 C/N 偏低,碳素储备不足,导致出菇后期基质中可利用碳素不足,从而造成第 2、3、4 潮菇产量锐减。

本研究的意义不仅在于筛选出适宜花椒枝屑栽培平菇的最优配方和品种,更在于为花椒产业的“菌椒循环”模式提供了技术依据。利用花椒枝屑栽培平菇,正是“大食物观”在花椒主产区的具体实践,将修剪废弃的枝条转化为优质食用菌生产原料,实现“变废为宝”,拓展食物来源。花椒枝屑的突出优势在于作为花椒产业副产物,在陇南等花椒主产区年产量大,若将这些可持续的废弃物资源部分用于平菇栽培,可有效替代传统玉米芯基质,降低原料成本,同时减少枝条焚烧带来的环境污染。据估算,按每袋添加 40%花椒枝屑计算,每万袋可节约替代资源 4.9~5.9 t;栽培后的菌渣富含有机质和微生物菌体蛋白质,还田后还可

改良土壤理化性质,具有显著的循环经济价值,形成“花椒枝条→栽培平菇→菌渣还田→改良土壤”的循环模式^[30-31]。

综上所述,以花椒枝屑为基质栽培平菇,推荐T2配方(40%花椒枝屑+60%玉米芯),优先选择早秋615或大叶39品种,可在花椒主产区(如甘肃陇南)推广应用。

参考文献

- [1] 中国食用菌协会. 2023 年度全国食用菌统计调查结果分析[J]. 中国食用菌, 2025, 44(1): 120-129.
- [2] 楚晓真, 刘璇, 龚攀. 不同基质对平菇生长发育营养成分及矿物元素含量的影响[J]. 中国瓜菜, 2024, 37(9): 90-95.
- [3] 唐廷廷, 聂青玉, 陈吉裕, 等. 现代农业发展背景下中国平菇产业现状及对策研究[J]. 中国瓜菜, 2025, 38(2): 184-194.
- [4] 文晴, 李佳涛, 申进文, 等. 我国平菇产业发展历史现状及趋势[J]. 食用菌学报, 2025, 32(2): 89-103.
- [5] Yang H J, Xu D P, Ali H, et al. Multi-omics reveals terpenoid biosynthesis and antioxidant activity at maturity stage in *Zanthoxylum armatum* DC. fruits[J]. NPJ Science of Food, 2026, 10: 45.
- [6] 李佩洪, 陈政, 龚霞, 等. 花椒枝梢的研究利用现状[J]. 四川农业科技, 2016(12): 50-52.
- [7] 张晓娜, 朱秀娟, 王林林, 等. 陇南市花椒产业发展现状问题及对策[J]. 南方农业, 2024, 18(5): 163-166.
- [8] 李晓松, 陈明元, 黄成志, 等. 花椒及其废弃物资源化利用研究进展[J]. 南方农业, 2025, 19(15): 149-154.
- [9] 颜廷武, 黄雅姿. 大食物观下农食系统转型的理论内涵和实践路径: 以食用菌产业为例[J]. 世界农业, 2025(11): 44-55.
- [10] 孟资宽, 任元元, 邹育, 等. 花椒副产物的研究现状及展望[J]. 食品与发酵科技, 2021, 57(3): 140-144.
- [11] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1978.
- [12] LY/T 1271—1999 森林植物与森林枯枝落叶层全氮、磷、钾、钠、钙、镁的测定[S].
- [13] 尹淑丽, 李书生, 张根伟, 等. 四种木屑栽培糙皮侧耳子实体营养成分分析及氨基酸营养价值评价[J]. 食用菌学报, 2021, 28(5): 71-78.
- [14] 吕作舟. 食用菌栽培学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [15] 饶中秀, 孙继民, 张娜, 等. 基料添加艾草秸秆对平菇生长及品质的影响[J]. 中国农业科技导报, 2023, 25(6): 208-215.
- [16] 熊嘉莹, 丁红伟, 陈青君, 等. 基于桃木屑的配方与工艺对平菇生长的影响[J]. 中国农学通报, 2021, 37(21): 46-53.
- [17] 刘筱雪, 王一, 李冬兵, 等. 桑枝和竹屑栽培平菇配方比较试验[J]. 食用菌, 2024, 46(2): 33-36.
- [18] GB 5009.3—2016 食品安全国家标准 食品中水分的测定[S].
- [19] GB 5009.5—2025 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定[S].
- [20] GB 5009.124—2016 食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定[S].
- [21] 周春衡, 王文林, 张雯龙, 等. 基于隶属函数法对不同基质配方下平菇生长和品质的综合评价[J]. 南方农业学报, 2024, 55(12): 3615-3624.
- [22] 邵英男, 李云红, 闫思宇, 等. 黑龙江省东部山地 4 种典型林型乔木物种多样性和功能多样性特征[J]. 森林工程, 2026, 42(3): 486-498.
- [23] 李连华, 钟勇, 蒋强宇, 等. 两种栽培模式下樱桃番茄品种筛选试验[J]. 中国瓜菜, 2025, 38(11): 157-166.
- [24] 崔慧, 宫志远, 张燕, 等. 新型基质的营养成分分析及栽培平菇试验[J]. 食用菌, 2023, 45(4): 34-36.
- [25] 李晓林, 孙海艳, 梁国鲁, 等. 花椒枝屑栽培金针菇的研究[J]. 中国蔬菜, 2014(12): 30-33.
- [26] 高迎东, 周娟, 周鱼, 等. 不同比例葡萄枝条培养料处理对 4 种食用菌生长及品质的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2024, 59(5): 126-135.
- [27] 张春艳, 魏雅冬, 胡畔. 杨木屑与玉米秸秆配方基质对平菇生长营养价值及产量的影响[J]. 北方园艺, 2023(20): 117-125.
- [28] 王英磊, 于国荣, 杨家乐, 等. 基于苹果木屑的配方栽培平菇的安全性矿物质营养和产量分析[J]. 北方园艺, 2024(14): 116-122.
- [29] 邵红军, 程俊侠, 段玉峰. 花椒挥发油化学成分、生物活性及加工利用研究进展[J]. 食品科学, 2013, 34(13): 319-322.
- [30] 孙波, 周洪英, 刘启燕, 等. 基于灰色关联度分析的桑枝基质香菇栽培综合评价[J]. 北方园艺, 2025(21): 72-79.
- [31] 王克, 王玉华, 朱星红, 等. 经济林木整形修剪剩余物的开发利用现状和前景[J]. 河南林业科技, 2026, 46(1): 30-33.