

不同成熟度灰树花鲜味物质比较分析

龚凤萍^{1,2}, 段庆虎¹, 竹 玮¹, 陈李杨¹, 吴淑平¹, 岳贺伟¹, 史璐瑶¹, 张应香¹

(1. 信阳市农业科学院 河南信阳 464000; 2. 大别山实验室分中心 河南信阳 464000)

摘 要:旨在探讨灰树花(*Grifola frondosa*)子实体在不同成熟度的品质及风味特征变化规律,确定其最佳采收期。采用质构仪、氨基酸分析仪、电子舌和电子鼻等技术,结合主成分分析法系统分析了 T1(5~6 成熟)、T2(7~8 成熟)和 T3(9~10 成熟)3 个成熟度的灰树花子实体的质构特性、游离氨基酸组成、挥发性物质及味觉特征。结果表明,质构品质中的弹性、咀嚼性在 T2 较好;总游离氨基酸及谷氨酸含量在 T1 达到峰值(分别为 15.94 和 2.62 mg·g⁻¹),然后随成熟度增加呈下降趋势;电子舌检测表明,T1 的鲜味强度和丰富度最高,T2 次之;电子鼻分析显示,含硫化物、醇类和氮氧化合物是区分成熟度的关键挥发性成分。综上,在 T2 期进行采收,可以实现灰树花子实体品质、产量和风味特征的最佳平衡。研究结果可为灰树花适期采收提供理论依据和参考。

关键词:灰树花;成熟度;游离氨基酸;电子鼻;电子舌;主成分分析

中图分类号:S646.2

文献标志码:A

文章编号:1673-2871(2026)02-081-08

Comparative analysis of umami substances in *Grifola frondosa* of different maturity levels

GONG Fengping^{1, 2}, DUAN Qinghu¹, ZHU WEI¹, CHEN Liyang¹, WU Shuping¹, YUE Hewei¹, SHI Luyao¹, ZHANG Yingxiang¹

(1. Xinyang Academy of Agricultural Science, Xinyang 464000, Henan, China; 2. Dabie Mountain Laboratory Branch Center, Xinyang 464000, Henan, China)

Abstract: This study aims to investigate the quality and flavor characteristics changes of *Grifola frondosa* fruiting body at different maturity levels and determine its optimal harvest period. Assessed the texture properties, free amino acid composition, volatile compounds, and taste attributes of *Grifola frondosa* fruiting body at three maturity levels: T1 (five or six maturity), T2 (seven or eight maturity) and T3 (nine or ten maturity). The textural properties were characterized using a texture analyzer in TPA. The free amino acid composition were analyzed using amino acid analyzers. Flavor characteristics were assessed by an electronic nose, taste by an electronic tongue. The results indicated that the texture quality at the T2 exhibited better springiness and chewiness. The total free amino acid content and glutamic acid levels peaked at the T1 stage (15.94 and 2.62 mg·g⁻¹, respectively) and gradually declined with increasing maturity. Electronic tongue analysis demonstrated that umami intensity and richness were highest at the T1 stage, and then T2 stage. Electronic nose analysis revealed that sulfur compounds, alcohols and nitrogen oxides compounds were key factors distinguishing maturity levels. In general, harvesting was recommended during the T2 period to achieve the optimal balance among the quality, yield, and flavor characteristics of *Grifola frondosa* fruiting body. The research results could provide theoretical basis and reference for the application of *Grifola frondosa* harvesting.

Key words: *Grifola frondosa*; Maturity; Free amino acids; Electronic nose; Electronic tongue; Principal component analysis

灰树花(*Grifola frondosa*)隶属于担子菌门层菌纲非褶菌目多孔菌科,又称贝叶多孔菌(*Polyporus frondosus*)、栗蘑(中国河北)、千佛菌(中国四川)、重

菇(中国福建)、舞茸(*maitake*, 日本),是一种珍稀的食药兼用菌^[1-2]。其富含蛋白质、多糖、维生素和微量元素,味道鲜美,口感脆似玉兰,嫩如鸡丝,香气

收稿日期:2025-07-15;修回日期:2025-11-13

基金项目:河南省现代农业产业技术体系信阳综合试验站(HARS-22-08-Z3);信阳市科技攻关项目(20250055)

作者简介:龚凤萍,女,副研究员,主要从事食药两用菌新品种选育与栽培技术创新研究。E-mail: fumengmeng518@163.com

通信作者:张应香,女,副研究员,主要从事食用菌栽培新技术研究。E-mail: nkszyx@163.com

如兰,素有“华北人参”和“食用菌王子”的美誉^[3-4]。食用菌含多种人体必需氨基酸,味道鲜美,深受消费者喜爱。随着人们生活水平的提高,消费观念逐渐由“吃得饱”向“吃得好”转变,对食用菌的鲜味和口感有了更高的要求。食用菌呈味物质的变化规律已引起食用菌研究人员的广泛关注。研究表明,食用菌中的鲜味物质主要来自游离氨基酸(如天冬氨酸和谷氨酸)及核苷酸、挥发性物质等^[5-8]。据报道,有些食用菌鲜味物质的含量随着成熟度变化而呈动态变化^[9-10]。刘芹等^[11-12]对不同成熟度的香菇、平菇风味物质进行比较,发现幼菇期氨基酸等鲜味物质含量最高。笔者在试验中发现灰树花不同成熟时期的气味和口感有较大差别,然而,目前关于不同成熟度灰树花风味物质的系统性研究仍较缺乏。鉴于此,笔者通过分析灰树花在 T1(5~6 成熟)、T2(7~8 成熟)、T3(9~10 成熟)3 个生长阶段的农艺性状、质构特性、游离氨基酸组分及含量、挥发性物质及味觉特征,旨在明确其品质变化规律,为确定最佳采收期提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试菌株为灰树花 3 号,引自驻马店市农业科学院。

PDA 培养基:马铃薯(去皮)200 g,葡萄糖 20 g,琼脂 20 g,水 1000 mL。

栽培袋培养基:板栗(麻栎)木屑 60%,板栗栗苞壳 19%,麸皮 15%,石膏 1%、生土 5%。培养料含水量 50%~53%,pH 为 6.0~6.5。

1.2 方法

试验于 2024 年 5—9 月在信阳市农业科学院陆庙试验示范园区进行,参照龚凤萍等^[13]的方法,采用层架式栽培出菇方式进行管理。

1.2.1 灰树花子实体栽培、样品采集及预处理 将灰树花新鲜子实体按成熟度分为 T1(5~6 成熟)、T2(7~8 成熟)、T3(9~10 成熟)3 组,每组设 3 个重复,每个重复 1 朵菇,采菇要求子实体朵形完整、无破损、无病虫害,采收后的鲜菇样品用保鲜袋分装,再放入加有冰块的泡沫纸箱中,运回实验室后置于-40℃冰箱保存备用。

1.2.2 农艺性状测定 参照谢红艳等^[14]的方法,测定不同成熟度灰树花鲜菇菇高、菇直径、菌管长度及叶片厚度、长度、宽度,称量鲜菇单朵质量,每组 5 次重复,取平均值。

1.2.3 质构品质测定 利用质构仪(TMS-PRO)测定不同成熟度鲜菇质地,测定方法参照姜宁等^[15]的报道。取待测样品(鲜菇)5 g,菌孔向下,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、测试速度和测后速度分别为 10.0、2.0 和 10.0 mm·s⁻¹,压缩比 40%,2 次压缩间隔时间 5 s,自动触发类型,触发力 5.0 g。每组重复测定 10 次,结果取平均值。

1.2.4 氨基酸组成测定 称取样品 1.0 g,切碎后研磨成浆,加入到 10 mL 的 100 mmol·L⁻¹ 盐酸中,在 25℃超声提取 30 min。5000g 离心 10 min 后,取 5.0 mL 上清液与 5 mL 磺基水杨酸(质量分数 5.0%)混合,25℃黑暗静置 30 min。5000g 离心 10 min,收集上清液并采用微孔过滤膜(0.22 μm)过滤。采用 L-8800 氨基酸自动分析仪对样品氨基酸进行测定和分析。测定前对氨基酸混合标准品进行分析,通过对比样品的氨基酸峰谱和标准氨基酸谱,对样品中的氨基酸组成进行定性和定量^[16]。

1.2.5 挥发性化合物检测 参照 Du 等^[17]和 Shi 等^[18]的方法,采用电子鼻(PEN3)测定灰树花子实体中挥发性化合物组成。电子鼻传感器对应的气味特性类型见表 1。

表 1 电子鼻传感器特性描述
Table 1 Description of electronic nose sensor characteristics

传感器编号 Sensor No.	传感器代码 Sensor code	敏感物质 Sensitive substance	传感器编号 Sensor No.	传感器代码 Sensor code	敏感物质 Sensitive substance
1	W1C	芳烃化合物 Aromatic hydrocarbons	6	W1S	烷类 Alkanes
2	W5S	氮氧化合物 Nitrogen oxides compounds	7	W1W	硫化物 Sulfur compounds
3	W3C	氨、芳香分子 Ammonia and aromatic compounds	8	W2S	醇类、部分芳香族化合物 Alcohols and aromatic compounds
4	W6S	氢化物 Hydride	9	W2W	芳烃化合物、硫的有机化合物 Aromatic hydrocarbons, organic compounds of sulfur
5	W5C	烯烃、芳族、极性分子 Alkenes, aromatic compounds, and polar molecules	10	W3S	烷类和脂肪族 Alkanes and aliphatic compounds

1.2.6 味觉属性测定 味觉属性的测定采用日本 Insent 公司 SA402B 型电子舌。测试传感器有食品五味,传感器对应的属性分别为 C00(苦味)、AE1(涩味)、CA0(酸味)、CT0(咸味)、AAE(鲜味),Tasteless 为无味点,即参比溶液的输出,参比溶液(reference)由 KCl 和酒石酸组成味觉值,因此酸味的无味点为-13,咸味的无味点为-6,以此为基准,当样品的味觉值低于 Tasteless 时,说明样品无该味道,反之则有。每个处理测试 4 次,去掉第 1 次循环取后 3 次平均值作为测试结果。

1.3 数据处理

采用 SPSS 22.0 进行方差分析,采用 Excel 2007 作图。

2 结果与分析

2.1 不同成熟度灰树花农艺性状比较

不同成熟度灰树花农艺性状表现见图 1、图 2。从图 1 可以看出,不同成熟度子实体菌管差异较大,T1(5~6 成熟)的子实体叶片还未完全分化展开,肉眼几乎看不见叶片背部细小的菌孔。T2(7~8

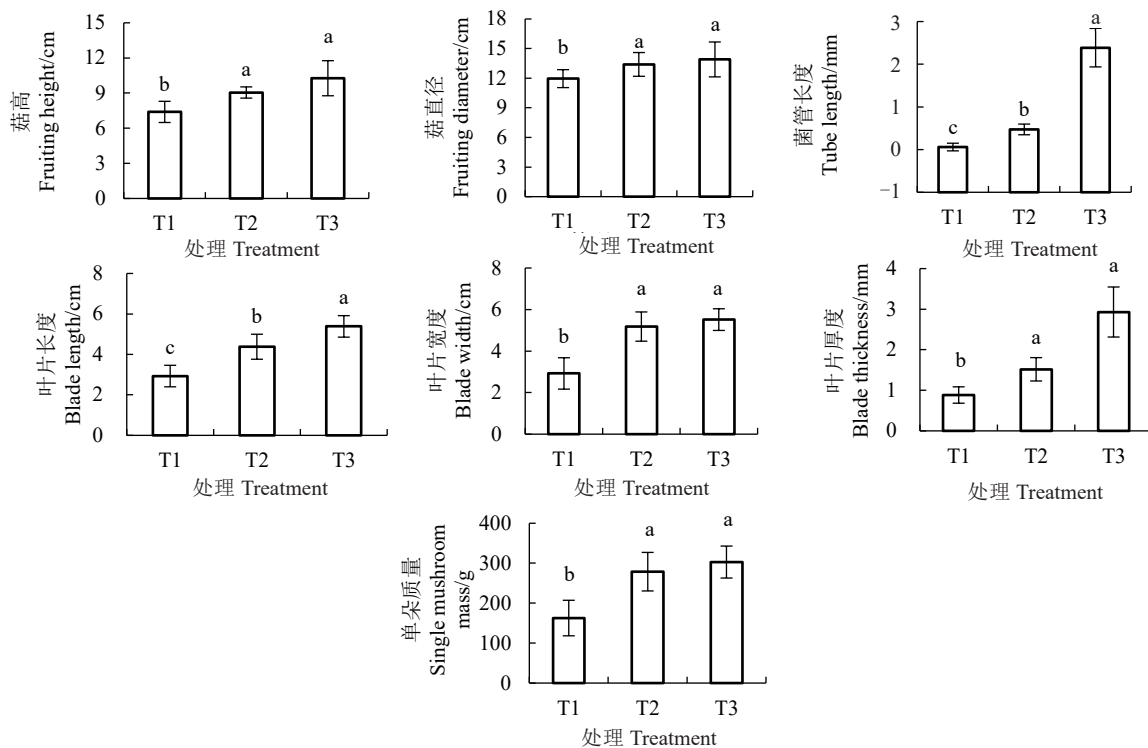


注:A. 5~6 成熟子实体菌管分布情况;B. 7~8 成熟子实体菌管分布情况;C. 9~10 成熟子实体菌管分布情况。

Note: A. Porcelain tube distribution in 5-6 mature fruiting body; B. Porcelain tube distribution in 7-8 mature fruiting body; C. Porcelain tube distribution in 9-10 mature fruiting body.

图 1 不同成熟度灰树花子实体菌管分布情况

Fig. 1 Poroid tube distribution of *Grifola frondosa* fruiting body of different maturity levels



注:不同小写字母表示处理间在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: Different small letters indicate significant difference among different treatments at 0.05 level. The same below.

图 2 不同成熟度灰树花子实体农艺性状

Fig. 2 Agronomic traits of *Grifola frondosa* fruiting body of different maturity levels

成熟)的子实体叶片完全展开,叶片背部中、下部靠近叶柄附近有少量细小菌管,叶片中上部无细小菌管。T3(9~10 成熟)的子实体叶片背部被菌管完全覆盖,菌管较长,叶片向上向内卷曲。

从图 2 可以看出,灰树花的菇高、菇直径、菌管长度、叶片长度、叶片宽度、叶片厚度、单朵质量随着成熟度增加而递增。其中,T1、T2 和 T3 的菇高分别为 7.39、9.05、10.27 cm;菇直径分别为 11.96、13.40、13.90 cm;菌管长度分别为 0.06、0.47、2.39 mm;叶片长度分别为 2.93、4.38、5.38 cm;叶片宽度分别为 2.92、5.18、5.52 cm;叶厚分别为 0.88、1.52、2.93 cm;单朵质量分别为 162.74、278.77、302.85 g。方差分析表明,T2 和 T3 的菇高、菇直径、叶片宽度、叶片厚度和单朵质量均无显著差异,均显著大于 T1;叶片长度和菌管长度在不同成熟度间差异显著。

从表 2 可以看出,各个成熟度农艺性状在 0.01 水平上的相关关系如下:叶片长度与菇高、菌管长度呈极显著正相关,相关系数分别为 0.895、0.733;叶片宽度与叶片长度、菇高呈极显著正相关,相关系数分别为 0.809、0.752;叶片厚度与菌管长度、叶片长度、叶片宽度、菇高呈极显著正相关,相关系数分别为 0.895、0.791、0.644、0.779;单朵质量与叶片宽度、菇高、叶片长度、叶片厚度呈极显著正相关,相关系数分别为 0.869、0.710、0.689、0.642。

综上,灰树花菇高、菇直径、叶片厚度、叶片宽度、单朵质量在 T2 期时与 T3 期无显著差异。菌管

出现时间和菌管长度与灰树花成熟度密切相关,可以作为灰树花成熟度的判断标志。

表 2 不同成熟度灰树花子实体农艺性状相关性
Table 2 Correlation of agronomic traits of *Grifola frondosa* fruiting body of different maturity levels

性状编码 Traits code	A	B	C	D	E	F	G
A	1	0.617	0.590	0.895**	0.752**	0.779**	0.710**
B		1	0.330	0.626	0.581	0.515	0.604
C			1	0.733**	0.587	0.895**	0.563
D				1	0.809**	0.791**	0.689**
E					1	0.644**	0.869**
F						1	0.642**
G							1

注:A、B、C、D、E、F、G 分别表示菇高、菇直径、菌管长度、叶片长度、叶片宽度、叶片厚度、单朵质量。**表示在 0.01 水平极显著相关。

Note: A, B, C, D, E, F, G represents fruiting body height, fruiting body diameter, tube length, blade length, blade width, blade thickness, single mushroom mass, respectively. ** indicates extremely significant correlation at 0.01 level.

2.2 不同成熟度灰树花子实体质构品质分析

硬度与咀嚼性结合反映了不同成熟度灰树花的适口性。从图 3 可以看出,灰树花新鲜子实体的硬度和胶黏性随着成熟度的增加而增加,不同处理之间差异显著。弹性和咀嚼性是评价灰树花口感的重要指标。不同成熟度灰树花的咀嚼性在 T2 和 T3 之间差异不显著,但二者与 T1 差异显著。弹性呈先升高后降低的趋势,在 T2 达到最高水平,在

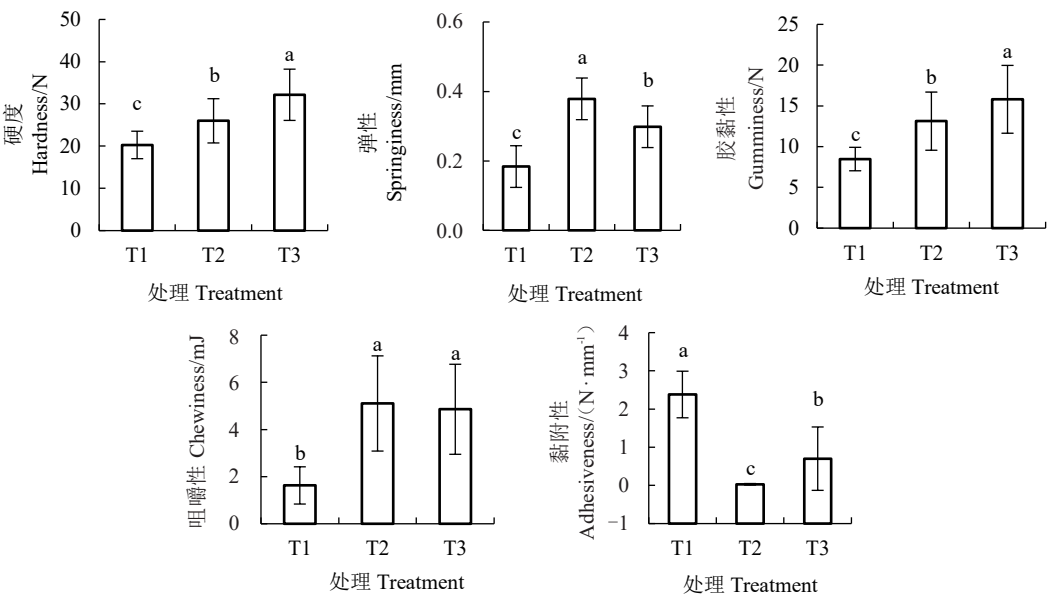


图 3 不同成熟度灰树花子实体质构品质差异
Fig. 3 Differences in texture quality of *Grifola frondosa* fruiting body of different maturity levels

T3 期呈下降趋势。3 个成熟度的黏附性差异显著,随着成熟度增加,呈先降低后升高的趋势。

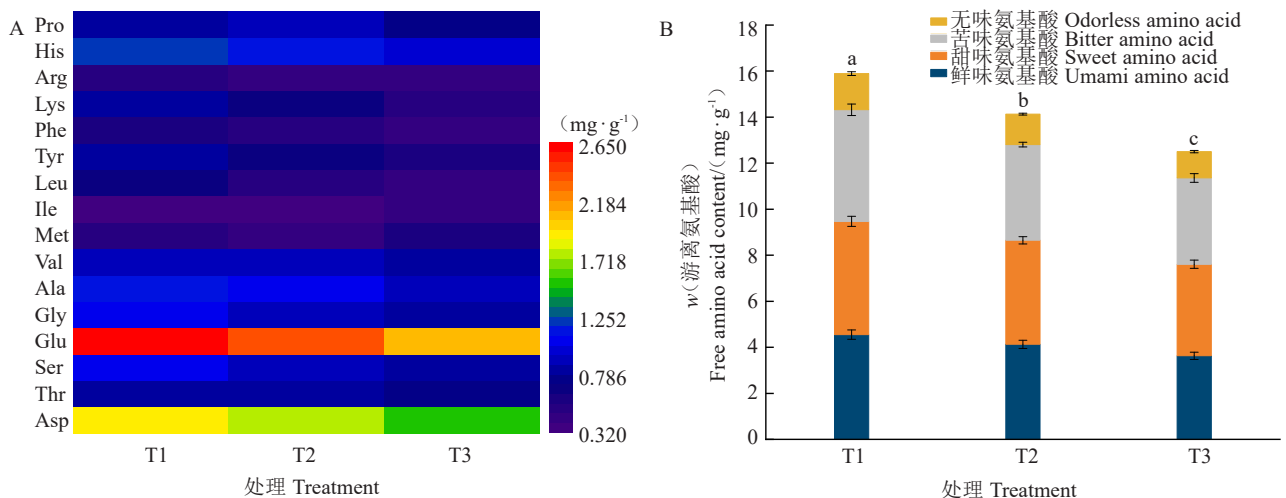
综上,T2 的弹性(0.38 mm)和咀嚼性(5.10 mJ)优于其他组,表明其适口性最佳。

2.3 不同成熟度灰树花子实体中氨基酸含量比较分析

不同成熟度的新鲜灰树花子实体氨基酸组分如图 4-A 所示。结果表明,共检测出 16 种游离氨基酸,且氨基酸总含量随成熟度的增加呈下降趋势。其中,T1 阶段的鲜子实体氨基酸含量(w,下同)最高(15.94 mg·g⁻¹),T2 次之(14.29 mg·g⁻¹),T3 最低(12.51 mg·g⁻¹)(图 4-B)。16 种游离氨基酸中鲜味氨基酸谷氨酸(Glu)和天冬氨酸(Asp)含量较

高。Glu 含量超过 2.1 mg·g⁻¹,在 T1 阶段含量最高,为 2.62 mg·g⁻¹,然后随着成熟度的增加开始下降;Asp 含量均超过 1.5 mg·g⁻¹。根据余昌霞等^[19]的方法,将灰树花子实体的氨基酸按甜味、苦味、鲜味分类,如图 4-B 所示,可以看出,灰树花子实体中鲜味氨基酸含量为 3.63~4.55 mg·g⁻¹,甜味氨基酸含量为 4.09~4.99 mg·g⁻¹,苦味氨基酸含量为 3.75~4.85 mg·g⁻¹,无味氨基酸含量为 1.14~1.57 mg·g⁻¹。本试验结果表明,不同成熟度的灰树花甜味氨基酸含量高于鲜味和苦味氨基酸,这可能是由于不同种类食用菌的氨基酸含量存在差异。

综上,灰树花中游离氨基酸及呈味氨基酸风味物质的含量在幼菇期最高,随着子实体的生长,氨



注: Asp. 天冬氨酸; Glu. 谷氨酸; Thr. 苏氨酸; Ser. 丝氨酸; Gly. 甘氨酸; Ala. 丙氨酸; Val. 缬氨酸; Met. 蛋氨酸; Ile. 异亮氨酸; Leu. 亮氨酸; Tyr. 酪氨酸; Phe. 苯丙氨酸; Lys. 赖氨酸; Arg. 组氨酸; His. 精氨酸; Pro. 脯氨酸。氨基酸分类: 鲜味(Asp+Glu), 甜味(Thr+Gly+Pro+Ala+Thr), 无味氨基酸(Lys+Tyr), 苦味(His+Arg+Phe+Leu+Ile+Met+Val)。

Note: Asp. Aspartic acid; Glu. Glutamic acid; Thr. Threonine; Ser. Serine; Gly. Glycine; Ala. Alanine; Val. Valine; Met. Methionine; Ile. Isoleucine; Leu. Leucine; Tyr. Tyrosine; Phe. Phenylalanine; Lys. Lysine; Arg. Arginine; His. Histidine; Pro. Proline. Aminoacid classification: Umami (Asp+Glu), sweet (Thr+Gly+Pro+Ala+Thr), tasteless amino acids(Lys+Tyr), bitter(His+Arg+Phe+Leu+Ile+Met+Val)。

图 4 不同成熟度灰树花子实体中游离氨基酸含量(A)和分类(B)

Fig. 4 Content(A)and classification(B)of free amino acids in the fruiting bodies of *Grifola frondosa* of different maturity levels

基酸总含量呈下降趋势,鲜味也随之下降。

利用电子鼻系统对灰树花子实体的气味特征进行了分析。电子鼻每个传感器对应于一种特定的挥发性化合物。由表 3 可以看出,传感器 W1W、W5S、W2S、W1S、W6S 和 W3S 的响应值相对较高,表明子实体中含硫化物、氮氧化合物、醇类、烷类、氯化物和脂肪类物质含量较高,且随成熟度的增加而增加,呈现统计学上的显著变化。相反,传感器 W1C、W3C 和 W5C 的响应值相对较低,表明芳烃化合物、氨和芳香分子含量较低,且随着成熟

度增加,其含量呈下降趋势。

虽然挥发性化合物的类型在不同的成熟期基本保持一致,但浓度差异较大。具体表现为,硫化物、氮氧化物、醇类、烷烃和脂肪类物质在 T1 达到最低水平,在 T3 达到峰值。芳香族化合物及相关物质在 T1 时期最为丰富,在 T3 时期逐渐减少。

对 10 个不同成熟度的电子鼻传感器的传感器响应数据进行主成分分析(PCA)(图 5)。主成分 1(PC1)占总方差的 86.654%,PC2 占总方差的 5.590%。这两个主成分累计解释了 92.244%的变

表 3 电子鼻传感器感应不同成熟度灰树花产生挥发性物质的响应值
Table 3 The response value of electronic nose sensor detects substances produced by *Grifola frondosa* of different maturity levels

处理 Treatment	W1C	W5S	W3C	W6S	W5C	W1S	W1W	W2S	W2W	W3S
T1	0.28±0.02 a	13.07±1.52 c	0.25±0.02 a	1.68±0.04 ab	0.29±0.02 a	4.26±0.36 c	15.57±1.31 b	8.39±1.02 c	1.02±0.01 b	1.60±0.04 c
T2	0.23±0.07 b	16.11±3.54 b	0.20±0.06 b	1.72±0.11 a	0.23±0.07 b	5.50±1.28 b	16.99±3.35 b	11.73±3.73 b	1.03±0.01 a	1.94±0.09 a
T3	0.21±0.08 b	19.01±6.52 a	0.19±0.08 b	1.75±0.14 a	0.22±0.08 b	6.27±2.04 a	21.34±6.30 a	15.25±6.78 a	1.03±0.01 a	1.85±0.23 b

注:同列不同小写字母表示处理间在 0.05 水平差异显著。
Note: Different small letters in the same column indicate significant difference among different treatments at 0.05 level.

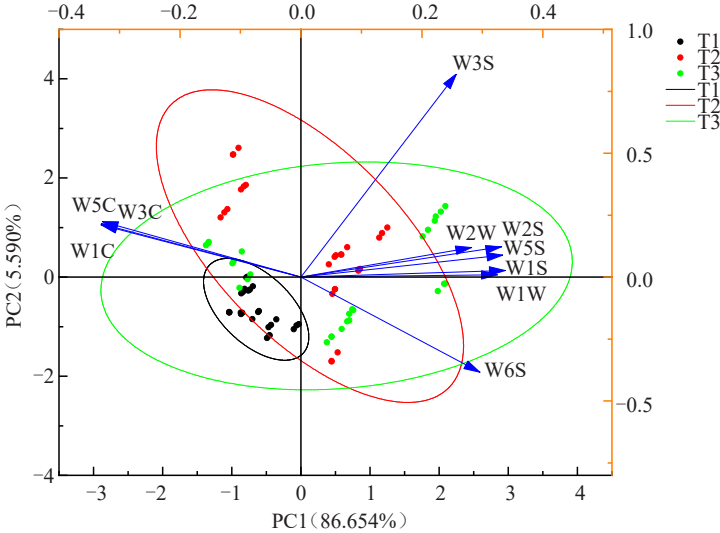


图 5 不同成熟度灰树花新鲜子实体电子鼻测定样本主成分分析
Fig. 5 Principal component analysis of electronic nose determination samples of fresh fruiting bodies of *Grifola frondosa* of different maturity levels

异,表明他们捕获了样本信息的很大一部分。PCA 能有效地根据成熟度水平区分样本,所有数据点都在 95%的置信区间内。从主成分负荷矩阵(表 4)可以看出,除 W1C、W3C 和 W5C 外,其余传感器均与 PC1 呈正相关,W1S 和 W5S 对 PC1 的贡献较大;除 W6S 外,其他参数均与 PC2 呈正相关,其中 W3S 贡献最大。这些结果表明,W1S(烷类)和 W5S(氮氧化合物)是区分不同成熟期挥发性物质的关键指标。

2.4 不同成熟度灰树花子实体味觉特征的变化规律

为验证不同成熟度灰树花新鲜子实体味觉的变化规律,采用电子舌验证,灰树花子实体在不同成熟期的味觉变化如表 5 所示。结果表明,苦味和鲜味是所有成熟度水平的主要味道属性,单个口味属性的强度随成熟度而变化。其中,酸味保持在检测阈值以下,表明不同成熟度灰树花子实体酸味不

表 4 电子鼻测定样本主成分分析
Table 4 Principal component analysis of determination samples by electronic nose

指标 Indicator	PC1	PC2
W1C	-0.330	0.211
W5S	0.334	0.089
W3C	-0.330	0.215
W6S	0.296	-0.384
W5C	-0.328	0.224
W1S	0.338	0.027
W1W	0.325	0.010
W2S	0.332	0.122
W2W	0.282	0.120
W3S	0.256	0.821
特征值 Eigenvalue	8.665	0.559
贡献率 Contribution rate/%	86.654	5.590
累计贡献率 Cumulative contribution rate/%	86.654	92.244

明显。涩味随着成熟而逐渐增加,苦味随着成熟先降低后升高,鲜味和丰富度随着成熟度增加而下降,咸味随着成熟先升高后降低。苦味回味反映了

苦味的残留程度,始终相对较低。丰富度是鲜味的回味,反映了样品鲜味的持久性,又称为鲜味持久度,在 T1 成熟度最好。涩味回味则是反映了涩味的残留程度,结果显示涩味回味不明显。

由图 6 可以看出,灰树花不同成熟度子实体中基

本的味道成分相同,但感觉强度有所差异。T1 的特点是更明显的鲜味和丰富度,而 T3 表现出更强的苦味。

电子舌测定结果表明,灰树花子实体在 T1(5~6 成熟)鲜味更突出,在 T3(9~10 成熟)鲜味降低,苦味较为突出。

表 5 不同成熟度灰树花新鲜子实体电子鼻测定样本感应值

Table 5 The sensing value of fresh fruiting bodies of *Grifola frondosa* of different maturity levels were determined by electronic nose

处理 Treatment	酸味 Sourness	苦味 Bitterness	涩味 Astringency	苦味回味 Aftertaste-B	涩味回味 Aftertaste-A	鲜味 Umami	丰富度 Richness	咸味 Saltiness
无味点 Tasteless	-13	0	0	0	0	0	0	-6
T1	-38.69±0.41 b	10.64±0.22 b	2.09±0.16 b	-3.63±0.65 a	0.10±0.15 a	4.35±0.19 a	2.89±0.29 a	-4.72±0.21 a
T2	-38.10±0.88 a	10.43±0.32 b	2.23±0.08 a	-4.17±0.71 a	-0.05±0.09 b	4.22±0.18 a	2.23±0.33 b	-4.64±0.11 a
T3	-38.91±0.29 b	10.98±0.26 a	2.25±0.06 a	-3.98±0.63 a	-0.12±0.15 b	4.15±0.32 a	2.13±0.43 b	-5.01±0.21 b

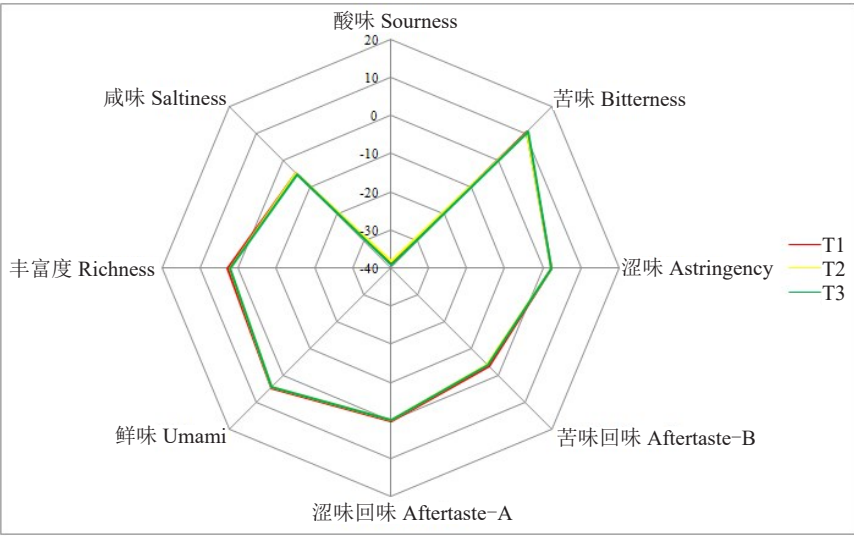


图 6 不同成熟度灰树花电子舌测定味觉感应值雷达图

Fig. 6 Radar plots of taste perception values measured by electronic tongue of *Grifola frondosa* of different maturity levels

3 讨论与结论

鲜味是相对于酸、甜、苦、咸的又一种基本味觉,因其口感丰富让人感觉愉悦,被认为是一种重要的食品风味^[20-21]。陈荣荣等^[22]研究发现,许多物质如氨基酸、核苷酸、有机酸、无机盐、多肽等均具有鲜味。食用菌鲜味物质主要来源于游离氨基酸、如 5'-核苷酸、多肽等物质^[11-12]。本研究表明,灰树花新鲜子实体在 T1(5~6 成熟)时游离氨基酸和鲜味氨基酸含量最高,然后随着成熟度增加而降低,跟刘芹等^[11-12]的研究结果相似,香菇、平菇子实体中的氨基酸和 5'-核苷酸含量在幼菇期最高。张扬等^[23]研究表明,羊肚菌随着子囊果的不断发育成熟,游离氨基酸和风味物质含量降低,也与本试验结果有相

同的变化趋势。上述几种食用菌均表现为子实体幼嫩组织的氨基酸含量较高,味道更鲜美,随着成熟度增加,纤维物质及氨基酸含量降低的原因可能是成熟的子实体菌管(菌褶)要弹射孢子,成熟组织更加注重种子发育或果实可能更注重蛋白质积累或转化。杨玲等^[24]研究发现,温度对香菇品质也有显著影响,下一步要深入探讨环境温度、不同出菇潮次对灰树花品质的影响。

TPA 质地参数可以用来对食品质地数据进行量化,使评价结果更为科学和精准。张桂香等^[25]利用 TPA 模式对 6 个苹果品种的质地特性进行分析,发现 TPA 模式能够作为一种方法,用于比较不同苹果品种的质地差异性。近几年,TPA 质地参数在食用菌品质测定中开始广泛应用,龚凤萍等^[26]利用质

构仪测定比较不同光照对灰树花品质的影响。邹明等^[27]研究表明,硬度、弹性、咀嚼性可用来反映平菇子实体质地特性。本试验结果表明,质构特性在T2阶段最优,弹性与咀嚼性最佳,硬度适中,口感最好,适口性优于T1和T3时期。

电子鼻与电子舌的结合应用为食用菌风味评价提供了高效手段^[28]。挥发性风味物质变化明显,电子鼻分析表明,烷类和氮氧化合物是区分不同成熟度的关键挥发性成分。T1时期芳香物质丰富,T3时期氮氧化合物等刺激性气味增强。电子舌检测结果发现,味觉特征以鲜味和苦味为主,T1鲜味最强,T3苦味更突出。这种味觉模式与律诗等^[29]报道的猴头菇、鹿茸菇等食用菌中普遍观察到的味道特征一致。

综合考虑产量、质构特性、风味和氨基酸含量,T2阶段在产量、弹性、咀嚼性和风味之间达到最佳平衡,是理想的采收期。本研究为确定灰树花最适采收期提供了科学依据,有助于在实际生产中兼顾产量与风味。建议后续研究进一步探讨灰树花中苦味物质的来源、氮氧化合物生成机制及其对风味的影响以及其他潜在风味成分的动态变化规律。

参考文献

- [1] 甘长飞.灰树花及其药理作用研究进展[J].食药菌,2014,22(5):264-267.
- [2] 谢淳,肖春,王涓,等.灰树花活性多糖构效关系研究进展[J].微生物学通报,2022,49(8):3401-3419.
- [3] 赵瑞蒲,杨志娟,周程艳.灰树花及其多糖的研究进展和应用前景[J].华北煤炭医学院学报,2002(5):573-574.
- [4] 郑传奇,王勋,陈华,等.灰树花化学成分及质量标准研究进展[J].现代食品,2021(6):23-27.
- [5] SUN L B, ZHANG Z Y, XIN G, et al. Advances in umami taste and aroma of edible mushrooms[J]. Trends in Food Science and Technology, 2020, 96: 176-187.
- [6] ZHANG Y, VENKITASAMY C, PAN Z, et al. Recent developments on umami ingredients of edible mushrooms: A review[J]. Trends in Food Science and Technology, 2013, 33(2): 78-92.
- [7] 李晓贝.杏鲍菇品种、栽培工艺及干制方式对其风味物质产生的影响研究[D].上海:上海应用技术学院,2014.
- [8] CHO I H, CHOI H K, KIM Y S. Comparison of umami-taste active components in the pileus and s-tipe of pine-mushrooms (*Tricholoma matsutake* Sing.) of different grades[J]. Food Chemistry, 2010, 118: 804-807.
- [9] CHEN W C, LI W, YANG Y, et al. Analysis and evaluation of tasty components in the pileus and stipe of *Lentinula edodes* at different growth stages[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2015, 63(3): 795-801.
- [10] MAU J L. The umami taste of edible and medicinal mushrooms[J]. International Journal of Medicinal Mushrooms, 2005, 7(1/2): 119-125.
- [11] 刘芹,崔筱,孔维丽,等.不同成熟度香菇鲜味物质的比较分析[J].食品与生物技术学报,2023,42(4):94-102.
- [12] 刘芹,崔筱,宋志波,等.不同成熟度平菇新鲜子实体中风味物质的比较分析[J].中国瓜菜,2022,35(9):38-47.
- [13] 龚凤萍,竹玮,段庆虎,等.大别山区灰树花层架式绿色高效栽培关键技术[J].食用菌,2022,44(5):44-46.
- [14] 谢红艳,万鲁长,黄春燕,等.21个灰树花菌株农艺性状的主成分和聚类分析[J].中国食用菌,2017,36(6):53-57.
- [15] 姜宁,余昌霞,董浩然,等.不同光质光照对香菇子实体农艺性状与质构品质的影响[J].菌物学报,2021,40(12):3169-3181.
- [16] 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.
- [17] DU H Z, CHEN Q, LIU Q, et al. Evaluation of flavor characteristics of bacon smoked with different woodchips by HS-SPME-GC-MS combined with an electronic tongue and electronic nose[J]. Meat Science, 2021, 182: 108626.
- [18] SHI J, NIAN Y Q, DA D D, et al. Characterization of flavor volatile compounds in sauce spareribs by gas chromatography-mass spectrometry and electronic nose[J]. LWT -Food Science and Technology, 2020, 124: 109182.
- [19] 余昌霞,陈明杰,李传华,等.不同培养基质对草菇营养成分及呈味物质的影响[J].菌物学报,2018,37(12):1731-1740.
- [20] TEMUSSI P A. The good taste of peptides[J]. Journal of Peptide Science, 2011, 18(2): 73-82.
- [21] NINOMIYA K. Umami: A universal taste[J]. Food Reviews International, 2002, 18(1): 23-38.
- [22] 陈荣荣,李文,吴迪,等.大蒜盖酶解液中鲜味肽的分离鉴定及其协同增鲜效果分析[J].食品科学,2024,45(1):65-74.
- [23] 张扬,集贤,巴宗,等.不同成熟度的新鲜羊肚菌质地和风味分析[J].中国食用菌,2025,44(1):50-56.
- [24] 杨玲,张彩霞,丛佩华,等.基于质地多面分析法对不同苹果品种肉质构特性的分析[J].食品科学,2014,35(21):57-62.
- [25] 张桂香,杨建杰,刘明军,等.不同出菇温度下香菇各批次产品的品质变化[J].甘肃农业科技,2020(10):28-31.
- [26] 龚凤萍,李杰,王子良,等.光照对灰树花农艺性状及质构品质的影响[J].中国瓜菜,2024,37(7):111-118.
- [27] 邹明,徐鹏亮,鲁欣欣,等.基于质地多面分析法对平菇质构特性的分析[J].北方园艺,2024(5):119-126.
- [28] 邓雅元,华蓉,孙达锋,等.食用菌风味成分及其检测方法研究[J].中国食用菌,2024,43(6):97-103.
- [29] 律诗,代赐鑫,刘野,等.食用菌鲜味强度评价及鲜味氨基酸和核苷酸提取工艺优化[J].食品科学技术学报,2022,40(1):100-108.