

贮藏温度对大球盖菇采后品质和挥发性风味成分影响

饶克诚, 黄文, 王益, 刘莹

Effects of Storage Temperature on the Postharvest Quality and Volatile Flavor Components of *Stropharia rugoso-annulata*

RAO Kecheng, HUANG Wen, WANG Yi, and LIU Ying

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022070297>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

不同加工方式对大球盖菇水提液挥发性风味成分和抗氧化能力的影响

Effects of Different Processing Methods on the Volatile Components and Antioxidant Ability of the Water Extracts from *Stropharia rugosoannulata*

食品工业科技. 2021, 42(23): 41-48 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021020072>

干制方式对大球盖菇滋味物质的影响

Effects of Drying Process on the Tasty Components in *Stropharia rugoso-annulata*

食品工业科技. 2021, 42(9): 251-256 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020060058>

不同贮藏温度下不同充气包装处理对鲜食枸杞贮藏品质的影响

Effects of Different Inflatable Packaging on Storage Quality of Fresh *Lycium barbarum* under Different Storage Temperatures

食品工业科技. 2018, 39(21): 270-274,279 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2018.21.048>

磁化水培养对大球盖菇菌丝生长特性的影响

Effect of magnetized water liquid cultivation on growth characteristics of *Stropharia rugoso-annulata* mycelium

食品工业科技. 2017(20): 110-114 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2017.20.020>

低温贮藏过程中水牛肉品质变化研究

Quality Changes of Buffalo Meat during Low Temperature Storage

食品工业科技. 2020, 41(2): 273-278,287 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.02.043>

油炸温度和时间对猪肉块品质的影响

Effects of Deep-fat Frying Temperature and Time on the Quality of Pork Nuggets

食品工业科技. 2018, 39(13): 19-24 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2018.13.004>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

饶克诚, 黄文, 王益, 等. 贮藏温度对大球盖菇采后品质和挥发性风味成分影响 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(11): 369–378. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022070297

RAO Kecheng, HUANG Wen, WANG Yi, et al. Effects of Storage Temperature on the Postharvest Quality and Volatile Flavor Components of *Stropharia rugoso-annulata*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(11): 369–378. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022070297

· 贮运保鲜 ·

贮藏温度对大球盖菇采后品质和挥发性风味成分影响

饶克诚¹, 黄文^{1,2}, 王益¹, 刘莹^{1,2,*}

(1. 华中农业大学食品科学技术学院, 湖北武汉 430070;

2. 果蔬加工与品质调控湖北省重点实验室, 湖北武汉 430070)

摘要: 为研究贮藏温度对大球盖菇保鲜效果的影响, 以新鲜大球盖菇为试材, 于不同贮藏温度 (0、15 °C) 下贮藏 12 d, 定期取样进行大球盖菇开伞率、腐烂率、失重率、色泽、硬度、咀嚼性及挥发性风味物质的测定。结果表明: 15 °C 下新鲜大球盖菇贮藏期为 4~6 d, 0 °C 下贮藏 12 d 后品质良好。与 15 °C 相比, 0 °C 贮藏能显著降低大球盖菇的开伞率、腐烂率和失重率, 更好地维持大球盖菇的硬度、咀嚼性和色泽。0 °C 贮藏 12 d 后大球盖菇腐烂率为 12.12%, 显著低于 15 °C 贮藏组 (95.45%, $P<0.05$)。3-辛醇、1-辛烯-3-醇、反-2-辛烯醛、壬醛、癸醛、3-辛酮、2-戊基呋喃是新鲜大球盖菇的特征风味物质, 且 3-辛醇和己醛是大球盖菇采后品质劣变的关键挥发性风味成分。与 15 °C 贮藏组相比, 0 °C 贮藏组大球盖菇电子鼻响应值更低, 正己醇、己醛、壬醛等不良风味成分的相对气味活度值更低, 并且挥发性风味物质种类更多。因此, 0 °C 贮藏能有效保持大球盖菇的采后品质, 抑制其风味劣变。

关键词: 大球盖菇, 贮藏, 温度, 品质, 挥发性风味成分

中图分类号: TS255.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2023)11-0369-10

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022070297



本文网刊:

Effects of Storage Temperature on the Postharvest Quality and Volatile Flavor Components of *Stropharia rugoso-annulata*

RAO Kecheng¹, HUANG Wen^{1,2}, WANG Yi¹, LIU Ying^{1,2,*}

(1. College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2. Hubei Key Laboratory of Fruit and Vegetable Processing and Quality Control, Wuhan 430070, China)

Abstract: To verify the effect of storage temperature on the preservation of *Stropharia rugoso-annulata*, fresh *Stropharia rugoso-annulata* was stored at different temperatures (0, 15 °C) for 12 days, and the cap opening rate, decay rate, weight loss rate, color, hardness, chewiness and volatile flavor compounds were determined at regular time. The results showed that fresh *Stropharia rugoso-annulata* could be stored at 15 °C for about 4~6 days while exhibited good quality after storage for 12 days at 0 °C. Compared with 15 °C, *Stropharia rugoso-annulata* storage at 0 °C had lower cap opening rate, decay rate and weight loss rate, and higher hardness, chewiness and color. After 12 days of storage at 0 °C, the decay rate of *Stropharia rugoso-annulata* was 12.12%, which was significantly lower than that of 15 °C group (95.45%, $P<0.05$). 3-Octanol, 1-octene-3-ol, (E)-2-octenal, nonanal, decanal, 3-octanone, 2-pentylfuran were the characteristic flavor substances in fresh *Stropharia rugoso-annulata*. In addition, the 3-octanol and hexanal were the key substances for the flavor deterioration of *Stropharia rugoso-annulata*. The electronic nose response values in the 0 °C group were lower than those in the 15 °C group. The relative odor activity values of hexanol, hexanal, nonanal and other bad flavor components in the 0 °C

收稿日期: 2022-08-01

基金项目: 湖北省现代农业产业技术体系专项资金资助 (HBHZZDZB-2021-023)。

作者简介: 饶克诚 (1998-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 食用菌加工及综合利用, E-mail: 2337276305@qq.com。

* 通信作者: 刘莹 (1987-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 食用菌加工及综合利用, E-mail: yingliu@mail.hzau.edu.cn。

group were lower. Moreover, the 0 °C group contained more types of volatile flavor compounds. Thus, the 0 °C storage could effectively maintain the postharvest quality of *Stropharia rugoso-annulata* and inhibit its flavor deterioration.

Key words: *Stropharia rugoso-annulata*; storage; temperature; quality; volatile flavor components

大球盖菇(*Stropharia rugoso-annulata*)又名赤松茸,营养丰富,含有较多生物活性成分,兼具药用价值,还含有野生菇的清香气味,深受消费者青睐^[1-3]。食用菌的风味主要由挥发性风味物质和非挥发性滋味物质组成,其中挥发性风味物质主要由八碳化合物及其衍生物以及醇类、酮类、醛类等组成,这些物质主要是亚油酸经脂氧合酶和氢过氧化物裂解酶催化下的代谢产物,具有浓郁的蘑菇味^[4]。与常见食用菌相比,大球盖菇呼吸作用更强,采后极易发生开伞、褐变、软腐和风味劣变等现象^[5]。研究表明,将鲜大球盖菇经真空预冷处理,可使货架期增加 1 倍^[6];以魔芋葡甘聚糖、淀粉、甘油、大豆分离蛋白混合进行涂膜可显著地降低大球盖菇细胞膜透性和失重率^[7]。陈婵等^[8]采用益生菌发酵液有效抑制大球盖菇的呼吸作用和褐变,降低失重率,保鲜期延长了 2 d。

事实上,温度对果蔬贮藏品质影响较大,适宜的贮藏温度能降低果蔬代谢活动,有利于维持果蔬采后品质。并且在避免果蔬发生冷害的温度范围内,贮藏温度越低,果蔬保鲜效果越好,研究表明已有许多果蔬能在 0 °C 左右贮藏^[9-10]。陈丽^[11]研究温度(1、20 °C)对猕猴桃贮藏品质的影响,发现 1 °C 贮藏能有效维持猕猴桃的硬度和 V_C 、葡萄糖等营养成分含量,抑制不良挥发性物质乙醛和乙醇含量的上升。张晓玉^[12]研究发现,0、5 °C 能降低秀珍菇呼吸速率和能量消耗,延长秀珍菇贮藏期。但目前尚缺乏贮藏温度对大球盖菇采后品质和风味物质影响方面的研究。因此,本研究将新鲜大球盖菇在 0 °C(低温冷藏)和 15 °C(低温货架)下分别贮藏 12 d,比较两种温度下大球盖菇贮藏期间开伞率、腐烂率、失重率、硬度、咀嚼性和色泽等品质指标和挥发性风味成分的变化,以期为大球盖菇贮藏保鲜提供基础理论数据,提高新鲜大球盖菇的贮运品质。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

新鲜大球盖菇 2021 年 10 月 11 日采摘自武汉缘来生态农业科技有限公司,7~8 成熟,量取菌盖直径为 4~5 cm、菌柄长 4~6 cm 的大球盖菇,确保大球盖菇大小均一;PE 自封保鲜袋 规格为 24 cm×34 cm,厚度为 0.08 mm,安徽省桐城市中伟包装有限公司;氯化钠 分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

TA.XT Plus 质构仪 英国 Stable Micro Systems 公司;UltraScan VIS 色差仪 美国 Hunterlab 公司;7890B-7000D 气相色谱-质谱联用仪 美国 Agilent 公司;FOX 4000 电子鼻 法国 Alpha M.O.S 公司;AL204 电子天平 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;SPX-150B III 生化培养箱 天津市意博高科实验

仪器厂。

1.2 实验方法

1.2.1 原料处理 挑选未开伞、无损伤的新鲜大球盖菇子实体,用毛刷轻柔刷去洗净菇体表面泥土等杂质,自然晾干后分为两组用自封保鲜袋密封保存,每袋装入约 1 kg,每组 6 袋,分别置于 0 °C 和 15 °C 下贮藏 12 d,挥发性风味物质和电子鼻检测每隔 4 d 取样进行测定,其它指标每隔 2 d 取样进行测定。第 0 d 的测定值为处理后 2 h 进行测定。

1.2.2 指标的测定

1.2.2.1 色泽 采用色差仪进行测定 L^* 、 a^* 、 b^* 值,检测大球盖菇菌盖纵切面正中点^[13]。

1.2.2.2 开伞率 参照 Gholami 等^[14]的方法,取 22 个大球盖菇观察,开伞率以大球盖菇开伞个数占总大球盖菇总数的百分比表示。

1.2.2.3 腐烂率 取 22 个大球盖菇观察,菇体出现软烂、发霉、流汁视为菇体腐烂,腐烂率以大球盖菇腐烂个数占总大球盖菇总数的百分比表示。

1.2.2.4 失重率 采用称重法^[15]测定,计算公式如下:

$$\text{失重率}(\%) = \frac{\text{贮藏前大球盖菇质量} - \text{贮藏后大球盖菇质量}}{\text{贮藏前大球盖菇质量}} \times 100$$

式(1)

1.2.2.5 硬度和咀嚼性 选取大球盖菇靠近菌盖的菌柄,用模具切成直径 1.5 cm 厚 1.0 cm 的圆柱体,选用 P/36R 探头,设置质构仪测试前、中、后速度为 2.0、1.0、2.0 mm/s,接触时发出力为 5.0 g,下压深度为样品高度的 50%,测定硬度和咀嚼性^[16]。

1.2.2.6 挥发性风味物质 固相微萃取条件:参照胡思^[17]的方法,略作修改,在室温 20 °C 下取样,准确称取 5.00 g 切碎的大球盖菇于 20 mL 螺口样品瓶中,加入 5 mL 饱和食盐水,加盖密封,60 °C 水浴 10 min。然后用 DVB/CAR/PDMS 50/30 μm(二乙烯基苯/碳分子筛/聚二甲基硅氧烷)萃取头顶空吸附 40 min 后,将萃取头插入 GC 进样,在 250 °C 条件下解析 5 min 进行 GC-MS 分析。

气相色谱-质谱联用条件:采用 Agilent HP-5 ms 非极性毛细管柱(30 m×250 μm×0.25 μm),升温程序:初温 60 °C 保持 2 min,后以 3 °C/min 的速率升至 90 °C,保持 5 min,再以 10 °C/min 的速率升至 260 °C,保持 1 min;载气(He)流速 1.0 mL/min;进样口温度 250 °C,不分流。质谱条件为电子能量 70 eV,电压 350 V;离子源温度 230 °C,四极杆温度 150 °C,传输线温度 280 °C;质量扫描范围 m/z 50~450。

挥发性成分定性与定量分析:通过 NIST11 标准谱图数据库检索进行定性分析比对,采用峰面积归

一化法计算各组分相对含量,选择匹配度大于 80% 的挥发性风味成分进行分析,剔除一些硅氧烷类物质^[18]。

主体挥发性风味成分的评定:相对气味活度值(relative odor activity value, ROAV)分析参照殷朝敏等^[4]的方法,定义对样品风味贡献最大的组分的 $ROAV_{stan}=100$,则其他挥发性成分的 ROAV 小于 100,按下式计算:

$$ROAV_i \approx \frac{C_{ri}}{C_{rstan}} \times \frac{T_{stan}}{T_i} \times 100$$

式 (2)

式中: C_{ri} 、 T_i 分别为挥发性成分的相对含量(%)和气味阈值($\mu\text{g/kg}$); C_{rstan} 、 T_{stan} 分别为对样品整体风味贡献最大组分的相对含量(%)和气味阈值($\mu\text{g/kg}$)。

1.2.2.7 电子鼻检测 参照胡思^[17]的方法,略作修改,准确称取 3.00 g 切碎的大球盖菇于 10 mL 电子鼻专用顶空瓶中,加盖密封待检。

顶空样品制备:加热箱温度 80 ℃,振动速度 500 r/min,每个样品加热 300 s。

分析条件:以合成的干燥空气为载气,流速 150 mL/min,注射体积 2500 μL ,注射针温度 80 ℃,注射针总体积 2500 μL ,注射速度 2500 $\mu\text{L/s}$,获取时间 120 s,延滞时间 300 s。

样品的统计分析:运用 AlphasoftV 9.1 软件进行主成分分析(PCA)和雷达指纹图谱分析。电子鼻 17 个传感器对应敏感物质类型如表 1 所示。

表 1 电子鼻传感器对应敏感物质类型
Table 1 Sensitive substance type of each electronic nose sensor

序号	传感器名称	敏感物质类型
1	LY2/LG	氯、氟、氮氧化合物、硫化物
2	LY2/G	氨、胺类化合物、氮氧化合物
3	LY2/AA	乙醇、丙酮、氨
4	LY2/GH	氨、胺类化合物
5	LY2/gCTL	硫化物
6	LY2/gCT	丙烷、丁烷
7	T30/1	极性化合物、氯化氢
8	P10/1	非极性;碳氢化合物、氨、氯
9	P10/2	非极性;甲烷、乙烷
10	P40/1	氟、氯
11	T70/2	甲苯、二甲苯、一氧化碳
12	PA/2	乙醇、氨水、胺类化合物
13	P30/1	碳氢化合物、氨、乙醇
14	P40/2	氯、硫化氢、氟化物
15	P30/2	硫化氢、酮
16	T40/2	氯
17	T40/1	氟

1.3 数据处理

开伞率、腐烂率测定设置 3 次平行,电子鼻 4 次平行,色泽和失重率 6 次平行,硬度和咀嚼性 8 次平行,实验重复 3 次,统计结果以平均值 $\pm$ 标准差表示,使用 Excel 2016 软件进行数据统计与分析,采用

IBM SPSS Statistics 24 软件对数据进行差异显著性检验($P<0.05$),使用 Origin 2019b 软件进行绘图。

2 结果与分析

2.1 贮藏温度对大球盖菇色泽的影响

色泽是体现大球盖菇品质的一个重要指标,直接影响着产品的销售^[19]。由图 1 可以看出,在整个贮藏过程中,两种温度贮藏下的大球盖菇的 L^* 值均呈下降趋势, a^* 值和 b^* 值均呈上升趋势,即白度下降,红度和黄度上升。0 ℃ 贮藏组 L^* 、 a^* 、 b^* 值变化幅度较为缓慢,而 15 ℃ 贮藏组 L^* 、 a^* 、 b^* 值在贮藏第 6 d 后变化幅度迅速增大,出现明显的变色现象。从贮藏第 4 d 开始,15 ℃ 贮藏组的 b^* 值显著高于 0 ℃ 贮藏组($P<0.05$),从第 8 d 开始,15 ℃ 贮藏组的 L^* 、 a^* 值与 0 ℃ 贮藏组具有显著差异($P<0.05$),贮藏第 10 d

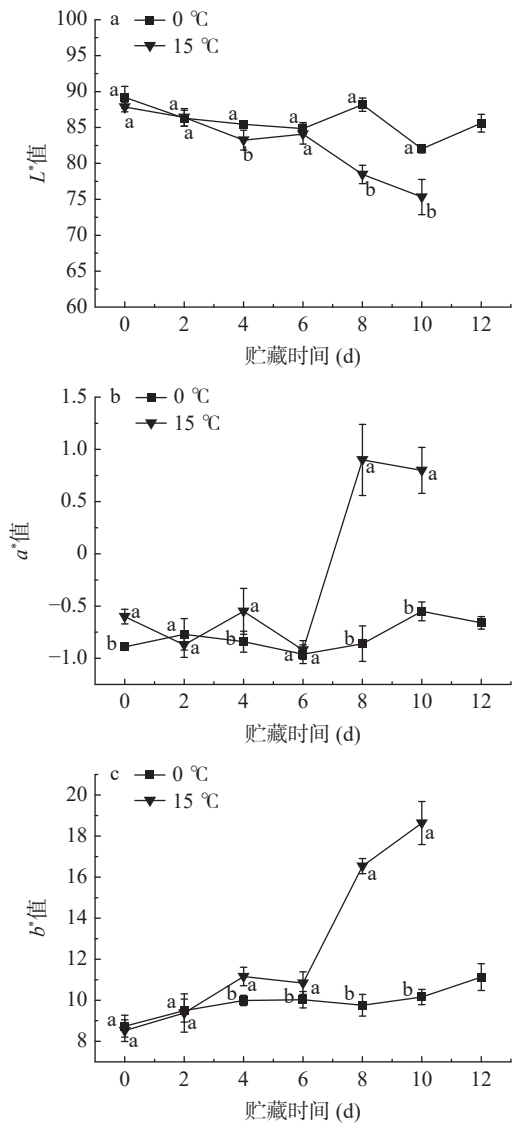


图 1 不同贮藏温度对大球盖菇 L^* 值(a)、 a^* 值(b)和 b^* 值(c)的影响

Fig.1 Effect of different storage temperatures on L^* value (a), a^* value (b) and b^* value (c) of *Stropharia rugoso-annulata*
注:因大球盖菇样品腐烂,15 ℃ 贮藏组第 12 d 无法进行色泽测定;不同字母代表相同贮藏时间不同样品之间具有显著性差异($P<0.05$),图 2、图 3 同。

时,0℃贮藏组比15℃贮藏组 L^* 值高6.71, a^* 值和 b^* 值低1.35和8.48。这可能是因为0℃降低大球盖菇菇体内与褐变相关的酶活性,抑制了大球盖菇褐变^[9]。因此,0℃贮藏能较好维持大球盖菇的色泽。

2.2 贮藏温度对大球盖菇开伞率、腐烂率和失重率的影响

通过开伞率可以有效判断食用菌成熟程度,开伞越严重则成熟度越高,并且会导致水分散失加快,影响贮藏品质^[20]。如图2a所示,不同贮藏温度下的大球盖菇开伞率均随贮藏时间延长均呈上升趋势。但从贮藏第6d开始,15℃贮藏组开伞率显著高于0℃贮藏组($P<0.05$)。到第12d时,0℃贮藏的大球盖菇开伞率比15℃贮藏组低24.24%。表明0℃贮藏能够抑制大球盖菇开伞。同样,从图2b可以看出,在贮藏过程中,两种贮藏温度下的大球盖菇的腐

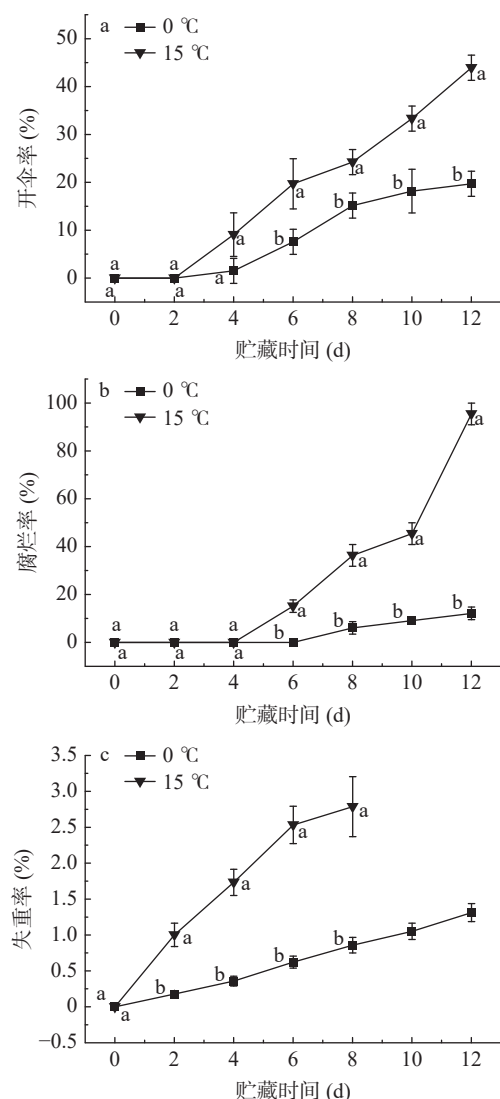


图2 不同贮藏温度对大球盖菇开伞率(a)、腐烂率(b)、失重率(c)的影响

Fig.2 Effect of different storage temperatures on cap opening rate (a), decay rate (b) and weight loss rate (c) of *Stropharia rugoso-annulata*

注:因大球盖菇样品腐烂,15℃贮藏组第10d和12d无法进行失重率测定。

烂率也均呈上升趋势,但0℃贮藏的大球盖菇腐烂率上升较为缓慢。从第6d开始,15℃贮藏组的腐烂率始终显著高于0℃贮藏组($P<0.05$);第8d时15℃贮藏组腐烂率达36.36%,失去贮藏价值;到第12d时,15℃贮藏组的腐烂率为95.45%,菇体严重腐烂发臭、出水发黏,而0℃贮藏组腐烂率仅为12.12%。此外,两种贮藏温度下的大球盖菇在贮藏期间失重率也均不断上升,0℃贮藏组的失重率在贮藏第2~8d显著低于15℃贮藏组($P<0.05$)(图2c)。0℃贮藏的大球盖菇第10d的失重率和15℃贮藏的大球盖菇第2d的失重率相近。由上表明,0℃能有效降低大球盖菇贮藏期间失重率。

2.3 贮藏温度对大球盖菇硬度和咀嚼性的影响

硬度是果蔬重要的品质指标。如图3a所示,大球盖菇的硬度随贮藏时间延长呈下降趋势,菇体逐渐软化。但是,0℃下贮藏的大球盖菇硬度下降较为缓慢,第12d硬度为贮藏开始的66.71%。而15℃条件下贮藏的大球盖菇硬度则迅速下降,第8d硬度仅为初始状态的22.46%。从贮藏第6d开始,两组大球盖菇的硬度之间出现显著性差异($P<0.05$)。结果表明,0℃贮藏能在一定程度上维持大球盖菇的硬度,减缓菇体软化。

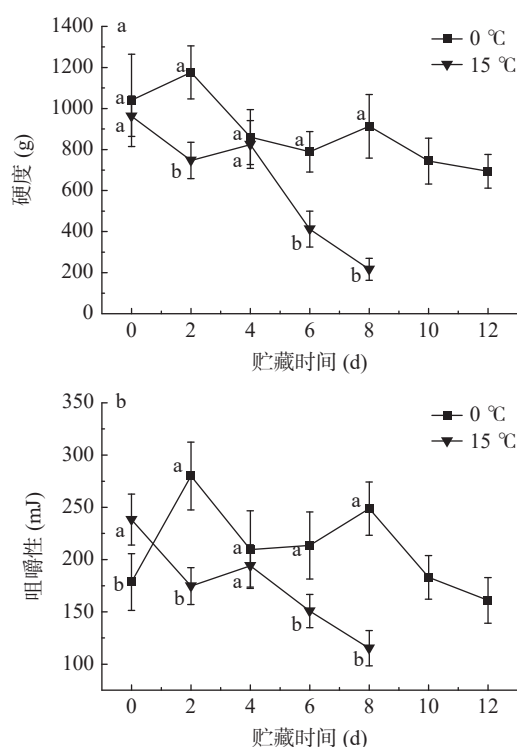


图3 不同贮藏温度对大球盖菇硬度(a)和咀嚼性(b)的影响
Fig.3 Effect of different storage temperatures on hardness (a) and chewiness (b) of *Stropharia rugoso-annulata*

注:因大球盖菇样品腐烂,15℃贮藏组第10d和12d无法进行硬度和咀嚼性测定。

咀嚼性是评价质地的综合指标^[21]。如图3b所示,15℃贮藏组在贮藏期间咀嚼性持续下降,贮藏第8d咀嚼性仅为贮藏起始的48.34%。而0℃贮藏组的咀嚼性先升后降的趋势,在第2d达到峰值,

随后下降。在贮藏 6 d 后, 0 ℃ 贮藏组的咀嚼性显著高于 15 ℃ 贮藏组($P<0.05$)。

2.4 贮藏温度对大球盖菇挥发性风味物质的影响

2.4.1 挥发性化合物种类及相对含量变化 由表 2 可知, 0 ℃ 和 15 ℃ 下贮藏的大球盖菇共检测出 46 种主要的挥发性风味成分。从 0 ℃ 贮藏组共检测出 41 种挥发性物质, 其中醇类 8 种, 醛类 7 种, 酮类 4 种, 酯类 5 种, 烯烃和烷烃各 2 种, 酚类、呋喃和吡嗪各 1 种, 其它杂环化合物 10 种; 从不同时间段看, 0、4、8 和 12 d 分别检测到挥发性物质 12、16、18

和 33 种, 挥发性物质种类逐渐增加; 从成分上看, 贮藏期间醇类、醛类、酮类、酯类、酚类和其它杂环化合物种类增加, 烯烃和呋喃种类不变, 烷烃类和吡嗪种类减少。15 ℃ 贮藏组共检测出 23 种挥发性物质, 其中醇类 8 种, 醛类 6 种, 酮类和酯类各 3 种, 烯烃、烷烃和呋喃各 1 种; 从不同时间段看, 0、4 和 8 d 分别检测到挥发性物质 16、13 和 17 种, 贮藏期间挥发性物质种类先减少再增加; 从成分上看, 在贮藏过程中醇类、酮类和烷烃类种类增加, 呋喃类种类不变, 醛类、酯类和烯烃类种类减少。

表 2 不同贮藏温度下大球盖菇挥发性物质变化
Table 2 Changes of volatile substances of *Stropharia rugoso-annulata* at different storage temperatures

序号	化合物名称	相对含量(%)						
		0 d		4 d		8 d		12 d
		0 ℃	15 ℃	0 ℃	15 ℃	0 ℃	15 ℃	0 ℃
醇类								
1	正己醇	9.21	18.17	18.52	18.00	46.39	22.16	18.86
2	3-辛醇	18.31	7.89	6.63	11.20	4.07	10.88	11.96
3	1-辛烯-3-醇	3.71	5.95	0.77	1.87	1.04	1.69	10.35
4	庚醇	—	—	—	0.76	0.72	0.48	0.53
5	1-戊醇	—	—	—	1.67	0.23	—	—
6	顺-3-壬烯-1-醇	—	—	—	—	—	—	0.12
7	2-亚甲基环己醇	—	—	0.18	—	—	—	—
8	3,5-辛二烯-2-醇	—	—	—	—	—	—	0.05
9	1,10-癸二醇	—	0.63	—	—	—	—	—
10	芳樟醇	—	—	—	—	—	0.12	—
11	4-乙基-1-辛炔-3-醇	—	—	—	—	—	1.02	—
醛类								
12	己醛	1.16	1.80	0.55	—	7.85	3.58	2.67
13	苯乙醛	0.34	0.53	0.60	0.56	0.39	—	0.69
14	反-2-辛烯醛	0.26	0.57	0.22	0.32	0.46	0.26	0.76
15	壬醛	0.14	0.32	0.19	0.21	0.27	0.24	0.83
16	癸醛	0.11	0.23	0.12	0.08	0.07	0.07	0.30
17	苯甲醛	—	0.25	—	0.36	—	4.41	0.28
18	反式-2,4-癸二烯醛	—	—	—	—	—	—	0.74
酮类								
19	3-辛酮	26.50	12.16	6.87	12.95	2.45	13.14	23.63
20	香叶基丙酮	—	—	—	—	—	—	0.11
21	右旋香芹酮	—	—	—	—	—	—	0.10
22	2-丙酮基环戊酮	—	—	0.15	0.30	0.45	0.30	0.62
23	甲基壬基甲酮	—	0.24	—	—	—	0.25	—
酯类								
24	甲酸庚酯	—	0.37	0.28	—	—	—	—
25	γ-壬内酯	—	—	—	—	0.42	—	0.61
26	4-甲氧基苯甲酸甲酯	—	—	—	—	—	—	0.58
27	反式-2-十二烯-1-羟基-三氟乙酸酯	—	—	—	—	—	1.20	2.09
28	甲酸辛酯	—	0.39	—	—	—	—	0.78
烯烃类								
29	(Z)-3-乙基-2-甲基-1,3-己二烯	0.65	1.14	—	—	1.37	—	—
30	右旋萜二烯	—	—	0.07	—	—	—	0.30
烷烃类								
31	1,3,3,4-四甲基-2-氧杂双环[2.2.0]己烷	0.20	—	—	—	—	—	—
32	1,2-环氧环庚烷	—	—	—	—	0.19	—	—
33	1-硝基己烷	—	—	—	—	—	0.12	—

续表 2

序号	化合物名称	相对含量(%)							
		0 d		4 d		8 d		12 d	
		0 ℃	15 ℃	0 ℃	15 ℃	0 ℃	15 ℃	0 ℃	15 ℃
		酚类							
34	4-仲丁基-2,6-二叔丁基苯酚	—	—	0.11	—	—	—	—	0.15
		呋喃类							
35	2-戊基呋喃	0.26	0.70	0.63	1.06	1.03	0.83	—	0.89
		吡嗪							
36	2-甲氧基-3-仲丁基吡嗪	—	—	0.16	—	—	—	—	—
		其他							
37	2-甲基萘	—	—	—	—	0.16	—	—	0.62
38	萘	—	—	—	—	0.13	—	—	—
39	1,3-二甲基萘	—	—	—	—	—	—	—	0.18
40	邻异丙基甲苯	—	—	—	—	—	—	—	0.08
41	1-乙烯基-氮杂环丙啶	—	—	—	—	—	—	—	0.18
42	苯并噻唑	—	—	—	—	—	—	—	0.26
43	偶氮二异丁腈	—	—	—	—	—	—	—	0.16
44	6-甲基苯并噻吩	—	—	—	—	—	—	—	0.06
45	1-甲基-2,3-二氢吡啶	—	—	—	—	—	—	—	0.08
46	2,7-二甲基萘	—	—	—	—	—	—	—	0.16

注:因大球盖菇样品腐烂, 15 ℃贮藏组第12 d无法进行挥发性物质检测, 图4~图6和表3同; “—”表示未检测到该物质, 表3同。

由图 4 可知, 两种温度贮藏下的大球盖菇, 在贮藏期间, 挥发性物质总相对含量 0~4 d 呈下降趋势, 其中 0 ℃ 贮藏 4 d 时挥发性物质总相对含量迅速下降到 36.05%, 4 d 后呈上升趋势。两种温度贮藏的大球盖菇在整个贮藏期间醇类物质相对含量最高, 酮类物质相对含量也较高; 0 ℃ 贮藏组 0、4、8 和 12 d 检测到的醇类物质相对含量为 31.23%、26.10%、52.45% 和 41.87%, 酮类物质相对含量为 26.50%、7.02%、2.90% 和 24.46%; 15 ℃ 贮藏组 0、4 和 8 d 检测到的醇类物质相对含量为 32.64%、33.50% 和 36.35%, 酮类物质相对含量为 12.40%、13.25% 和 13.69%; 在贮藏后期醛类和酯类物质相对含量上升。大球盖菇的主要挥发性风味物质为醇类、醛类和酮类物质, 醇类物质具有令人愉快的木香和清香,

醛类物质阈值较低具有脂香味, 酮类物质具有花果香^[22-23], 对大球盖菇的整体风味有重要贡献。在整个贮藏期间, 0 与 15 ℃ 贮藏组相比, 挥发性物质种类更多。其中, 前者检测到酚类、吡嗪及其它杂环化合物, 而 15 ℃ 贮藏组未检测到这些物质。

2.4.2 ROAV 分析 大球盖菇的风味由挥发性成分的浓度与感觉阈值共同决定^[24], 基于此对两种贮藏温度下的大球盖菇挥发性成分进行 ROAV 分析。ROAV ≥ 1 的物质为关键风味物质, 处于 0.1~1 的物质对风味起修饰作用^[25]。由表 3 所示, 除 0 ℃ 贮藏组第 4 d 外, 两种贮藏温度下的大球盖菇在贮藏过程中 ROAV ≥ 1 的物质有 3-辛醇、1-辛烯-3-醇、反-2-辛烯醛、壬醛、癸醛、3-辛酮、2-戊基呋喃, 这些物质为新鲜大球盖菇贮藏过程中的特征风味物质。从整体上看, 两种温度条件下大球盖菇贮藏后期 3-辛醇和己醛含量显著增加, 且 ROAV 大于 1, 这两种物质应是造成新鲜大球盖菇风味劣变的关键挥发性物质。

0 ℃ 贮藏组挥发性成分的 ROAV 在 0~4 d 整体上迅速下降, 4 d 时 ROAV ≥ 1 的物质仅有 2-甲氧基-3-仲丁基吡嗪, 4~8 d 挥发性成分的 ROAV 整体上迅速上升, 8~12 d 又变为下降。15 ℃ 贮藏组挥发性成分的 ROAV 在贮藏期整体上逐渐增加。总体上看, 贮藏第 4 d 时 0 ℃ 贮藏组挥发性物质的 ROAV 低于 15 ℃ 贮藏组, 且 12 d 时 0 ℃ 贮藏组挥发性物质的 ROAV 低于 8 d 时 15 ℃ 贮藏组, 其中正己醇有青草味和鱼腥味^[26], 己醛有油腻味和腐臭味, 壬醛具哈喇味和鱼腥味^[27], 这些物质对大球盖菇的风味产生不良影响, 由此说明 0 ℃ 贮藏能较好维持大球盖菇的风味品质。

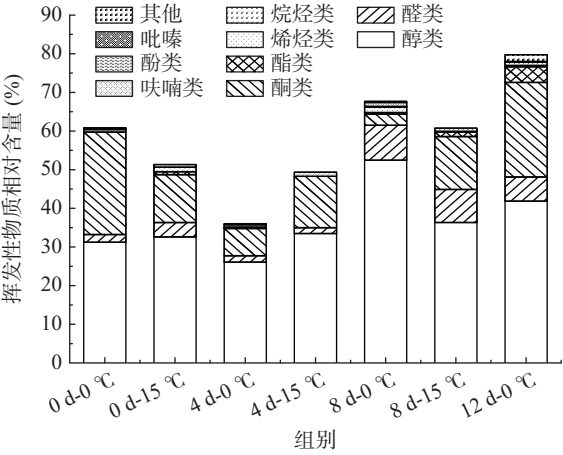


图 4 不同贮藏温度下大球盖菇的挥发性物质分类
Fig.4 Classification of volatile substances of *Stropharia rugoso-annulata* at different storage temperatures

表 3 不同贮藏温度下大球盖菇挥发性物质的 ROAV 值

Table 3 ROAV values of volatile substances in *Stropharia rugoso-annulata* at different storage temperatures

挥发性成分	阈值(μg/kg)	ROAV值						
		0 d		4 d		8 d		12 d
		0 ℃	15 ℃	0 ℃	15 ℃	0 ℃	15℃	0℃
醇类								
正己醇	250	0.99	1.22	0.05	3.85	10.64	5.24	0.71
3-辛醇	18	27.42	7.37	0.23	33.27	12.96	35.77	6.29
1-辛烯-3-醇	1	100	100	0.48	100	59.62	100	97.91
庚醇	3	—	—	—	13.55	13.76	9.47	1.67
1-戊醇	4000	—	—	—	0.02	—	—	—
芳樟醇	6	—	—	—	—	—	1.18	—
醛类								
己醛	4.5	6.95	6.72	0.08	—	100	47.07	5.61
苯乙醛	4	2.29	2.23	0.09	7.49	5.59	—	1.63
反-2-辛烯醛	3	2.34	3.19	0.05	5.70	8.79	5.13	2.40
壬醛	1	3.77	5.38	0.12	11.23	15.48	14.20	7.85
癸醛	0.1	29.65	38.66	0.75	42.78	40.13	41.42	28.38
反式-2,4-癸二烯醛	0.07	—	—	—	—	—	—	100
苯甲醛	350	—	0.01	—	0.06	—	0.75	—
酮类								
3-辛酮	28	25.51	7.30	0.15	24.73	5.02	27.77	7.98
酯类								
γ-壬内酯	65	—	—	—	—	0.37	—	0.09
呋喃类								
2-戊基呋喃	6	1.17	1.96	0.07	9.45	9.84	8.19	1.40
吡嗪								
2-甲氧基-3-仲丁基吡嗪	0.001	—	—	100	—	—	—	—

2.5 不同温度贮藏大球盖菇的电子鼻分析

2.5.1 不同温度贮藏大球盖菇的电子鼻传感器信号分析 图 5 为两种温度条件下大球盖菇贮藏期间的气味雷达图。0 ℃ 贮藏组大球盖菇 0 d 时电子鼻各个传感器响应值最大,贮藏第 4 d 时响应值均明显下降,在第 4~12 d 基本维持不变,表明在第 4~12 d 大球盖菇挥发性物质产生较少,仅 T70/2 传感器响应值明显上升,说明大球盖菇中芳香族化合物含量逐渐增

多^[28]。15 ℃ 贮藏组在第 8 d 时,T70/2、PA/2 和 P30/1 传感器响应值较高,说明组织中芳香族化合物、胺类化合物及碳氢化合物含量较高,可能是大球盖菇腐烂产生的气味^[28-29]。大球盖菇贮藏期间电子鼻响应值变化规律与 GC-MS 结果变化趋势基本一致。随着贮藏时间延长,0 ℃ 贮藏组的大球盖菇电子鼻传感器响应值显著低于 15 ℃ 贮藏组,表明 0 ℃ 贮藏能抑制挥发性气体的产生,有利于维持大球盖菇的风味品质。

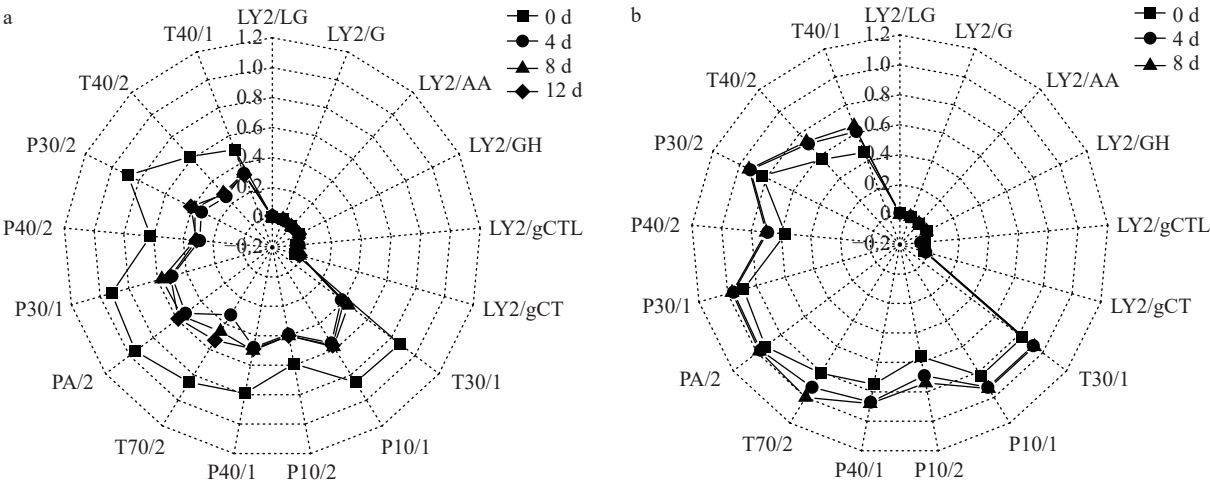


图 5 0 ℃(a)和 15 ℃(b)贮藏下大球盖菇的电子鼻雷达指纹图

Fig.5 Fingerprint chart of electronic nose of *Stropharia rugoso-annulata* storage at 0 ℃ (a) and 15 ℃ (b)

2.5.2 不同温度贮藏大球盖菇的电子鼻传感器信号主成分分析 两种温度贮藏的大球盖菇 0~8 d 的 PCA 结果如图 6, PC1 和 PC2 的贡献率分别为 98.419% 和 1.279%, 累计贡献率为 99.698%, 大于 80%, 说明这两个主成分能够较好地反映样品气味的整体信息^[30], 且主要由 PC1 贡献率区分不同样品的差异。随着贮藏时间延长, 0 °C 贮藏组 0~4 d 样品散点向 PC1 的正方向移动, 第 4 d 和第 8 d 样品散点位置有重叠, 而 15 °C 贮藏组 0~4 d 样品散点向 PC1 的负方向移动, 第 4 d 和第 8 d 样品散点位置也有重叠。两种贮藏温度下 4 d 和 8 d 的样品散点没有重叠, 且距离较远, 说明 PCA 分析能区分不同温度条件同一贮藏时间下大球盖菇气味的显著差异, 这与罗枫等^[31]的研究结果一致。但 PCA 分析无法区分出同一温度条件不同贮藏时间下大球盖菇气味的差异。

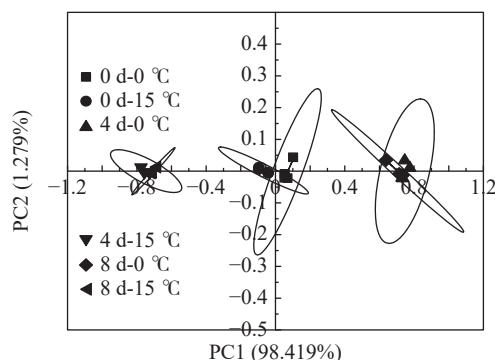


图6 不同贮藏温度下大球盖菇的电子鼻主成分分析

Fig.6 PCA of electronic nose of *Stropharia rugoso-annulata* at different storage temperatures

注: 因第 12 d 时只对 0 °C 贮藏组进行了电子鼻检测, 无法进行准确的 PCA 分析, 故 12 d 时 PCA 数据缺失。

3 讨论

温度对果蔬采后品质及保鲜效果有重要影响, 15 °C 下大球盖菇贮藏期仅为 4~6 d, 而 0 °C 贮藏组在贮藏第 12 d 时仍保持较好的品质。大球盖菇贮藏过程中的损失主要来自于开伞、失重和腐烂^[32]。本研究表明, 与 15 °C 相比, 0 °C 贮藏能显著地降低大球盖菇的开伞率、腐烂率和失重率。这可能是由于 0 °C 抑制了大球盖菇的呼吸强度、菇体代谢以及微生物的侵染, 减少了菇体中营养物质的消耗和水分散失, 延缓了菇体的成熟与衰老^[33-34]。质地与色泽是反映大球盖菇品质最为直接的感官指标。本研究中, 0 °C 贮藏能较好保持大球盖菇的色泽, 吴洋等^[35]研究发现 1 °C 和 4 °C 与 10 °C 和 20 °C 贮藏相比可显著延缓金玉兰菜褐变, 与本研究结果相近, 可能是因为 0 °C 降低了大球盖菇体内多酚氧化酶等与褐变相关的酶活性, 促进酚类物质的积累, 抑制了大球盖菇褐变^[33]。0 °C 贮藏也能较好维持大球盖菇的硬度和咀嚼性, 这与刘聪等^[36]的研究结果相近, 这可能是由于 0 °C 抑制了细胞壁降解相关酶的活性, 使菇体代谢减慢, 降低了大球盖菇细胞壁中几丁质、多糖、蛋白质等的降解^[37]; 而 0 °C 贮藏下大球盖菇的硬度和

和咀嚼性在贮藏前期上升, 可能是由于组织纤维化和木质化所致^[38]。

风味是评价大球盖菇品质的另一个重要指标。GC-MS 结果显示, 大球盖菇的主要挥发性风味物质为醇类、醛类和酮类物质, 而其中的八碳化合物最为重要^[39], 两种温度条件下大球盖菇在整个贮藏期间均检测到的八碳化合物包括 3-辛醇、1-辛烯-3-醇、反-2-辛烯醛和 3-辛酮, 这四种物质的 ROAV 值均较高, 是对大球盖菇风味贡献较大的物质。在贮藏后期, 0 °C 贮藏组的电子鼻响应值和正己醇、己醛、壬醛等不良挥发性风味成分的 ROAV 值明显低于 15 °C 贮藏组, 表明 0 °C 贮藏可较好维持大球盖菇的风味品质。这可能是因为 0 °C 贮藏抑制了大球盖菇的呼吸作用以及微生物的生长繁殖, 延缓了腐烂的发生, 抑制了大球盖菇挥发性气体的产生^[29]。总体上看, 0 °C 贮藏组挥发性风味物质种类和总相对含量高于 15 °C 贮藏组, 不同于果蔬低温贮藏过程中挥发性物质变化的基本规律^[11], 这可能与大球盖菇组成成分等的特殊性有关。食用菌的风味受多种因素影响, 如食用菌自身产生的各种次生代谢产物和微生物的防控情况^[39-40], 不同生长阶段食用菌子实体呈现出不同的风味特征, 不同贮藏环境条件及贮藏时间也会对食用菌风味产生重大影响, 而腐败微生物的生长则会使食用菌产生不良风味, 要明确大球盖菇贮藏过程中挥发性风味的变化机制, 还需进一步系统深入的研究。

4 结论

与 15 °C 贮藏相比, 0 °C 贮藏时显著抑制大球盖菇开伞率、腐烂率和失重率的上升, 更好维持大球盖菇的硬度、咀嚼性和色泽, 大球盖菇挥发性物质种类更多, 抑制不良挥发性风味成分正己醇、己醛、壬醛相对气味活度值的上升, 降低电子鼻响应值, 风味保持更好。0 °C 贮藏 12 d 后大球盖菇腐烂率为 12.12%, 显著低于 15 °C 贮藏组 (95.45%, $P < 0.05$)。15 °C 下大球盖菇贮藏期仅为 4~6 d, 而 0 °C 贮藏组在贮藏第 12 d 时仍保持较好的品质。因此, 0 °C 贮藏能有效保持采后大球盖菇的贮藏品质和风味, 延长大球盖菇的贮藏保鲜期。本研究结果为大球盖菇低温贮藏保鲜提供了基础理论数据。在本研究中大球盖菇在 0 °C 贮藏组挥发性风味物质种类和总相对含量整体来看高于 15 °C 贮藏组, 不同于果蔬低温贮藏过程中挥发性物质变化的基本规律, 要明确大球盖菇低温贮藏过程中挥发性风味的变化机制, 还需进一步深入研究。本研究贮藏温度水平设置较少, 未能准确得出大球盖菇的最适贮藏温度, 今后可进一步研究确定大球盖菇最适贮藏温度。且本研究仅从生理生化指标研究了贮藏温度对大球盖菇保鲜效果的影响, 对于菇体内酶活性、基因组和代谢组学方面仍有待深入研究。低温对大球盖菇保鲜效果有限, 未来可研究低温结合气调、生物保鲜剂等复合保鲜技术对大球盖菇采后品质的影响, 以期进一步延长贮藏期。

参考文献

- [1] 曾先富,熊维全,李昕竺.成都地区林下大球盖菇栽培技术关键[J].食用菌,2019,41(2):62-63. [ZENG X F, XIONG W Q, LI X Z. The key to the cultivation technology of *Stropharia rugosoannulata* under the forest in Chengdu area[J]. Edible Fungi, 2019, 41(2): 62-63.]
- [2] LIU Y, HU C F, FENG X, et al. Isolation, characterization and antioxidant of polysaccharides from *Stropharia rugosoannulata*[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2020, 155: 883-889.
- [3] WU J, FUSHIMI K, TOKUYAMA S, et al. Functional-food constituents in the fruiting bodies of *Stropharia rugosoannulata*[J]. Biosci Biotech Bioch, 2011, 75(8): 1631-1634.
- [4] 殷朝敏,范秀芝,史德芳,等. HS-SPME-GC-MS 结合 HPLC 分析 5 种食用菌鲜品中的风味成分[J]. 食品工业科技, 2019, 40(3): 254-260. [YIN C M, FAN X Z, SHI D F, et al. Flavor compounds analysis of 5 fresh mushrooms using HS-SPME-GC-MS and HPLC[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(3): 254-260.]
- [5] 朱铭亮.大球盖菇微波真空干燥工艺的研究[D].福州:福建农林大学,2009. [ZHU M L. Study on the technology of microwave vacuum drying about *Stropharia rugosoannulata*[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2009.]
- [6] 倪淑君,张海峰,田碧洁,等.大球盖菇采收后的初加工处理技术[J].黑龙江农业科学,2016,7:158. [NI S J, ZHANG H F, TIAN B J, et al. Primary processing and treatment of *Stropharia rugosoannulata* after harvesting[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2016, 7: 158.]
- [7] 陈思.大球盖菇的涂膜保鲜工艺及软罐头微波处理技术探讨[D].福州:福建农林大学,2013. [CHEN S. Preservation technology of *Stropharia* by thin film and the technology of microwave processing about soft canned of *Stropharia*[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2013.]
- [8] 陈婵,黄靖,彭宏,等.大球盖菇护色保鲜技术研究[J].农产品加工,2017,5:6-8. [CHEN C, HUANG J, PENG H, et al. Study on color-protection and fresh-keeping technology of *Stropharia*[J]. Farm Products Processing, 2017, 5: 6-8.]
- [9] 商立超,弓志青,王文亮,等.食用菌采后保鲜技术研究进展[J].山东农业科学,2022,54(7):149-156. [SHANG L C, GONG Z Q, WANG W L, et al. Research progress of postharvest preservation technology of edible fungi[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2022, 54(7): 149-156.]
- [10] 周巧杰.利用代谢网络通量控制分析对水蜜桃贮藏温度的优化[D].天津:天津商业大学,2020. [ZHOU Q J. Juicy honey peach storage temperature optimization by metabolic network flux control evaluation[D]. Tianjin: Tianjin University of Commerce, 2020.]
- [11] 陈丽.美味猕猴桃采后果实风味物质变化的研究[D].杭州:浙江工商大学,2018. [CHEN L. Study on changes in flavor components in kiwifruit during storage[D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2018.]
- [12] 张晓玉.贮藏温度对秀珍菇采后生理、呈味物质及能量代谢的影响[D].沈阳:沈阳农业大学,2017. [ZHANG X Y. Effects of different temperature storage on physiology, taste component and energy metabolism of *Pleurotus geesteranus*[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2017.]
- [13] GHEYARSABIGI S, MIRDEHGHAN S H, GHASEMNEZHAD M, et al. The inhibitory effect of nitric oxide on enzymatic browning reactions of in-package fresh pistachios (*Pistacia vera* L.)[J]. Postharvest Biology and Technology, 2020, 159(C): 110998.
- [14] GHOLAMI R, AHMADI E, FARRIS S. Shelf life extension of white mushrooms (*Agaricus bisporus*) by low temperatures conditioning, modified atmosphere, and nanocomposite packaging material[J]. Food Packaging and Shelf Life, 2017, 14: 88-95.
- [15] CONVERSA G, LAZZIZERA C, BONASIA A, et al. Harvest season and genotype affect head quality and shelflife of ready-to-use broccoli[J]. Agronomy, 2020, 10(4): 527.
- [16] HE Y, FAN G J, WU C E, et al. Influence of packaging materials on postharvest physiology and texture of garlic cloves during refrigeration storage[J]. Food Chemistry, 2019, 298: 125019.
- [17] 胡思.大球盖菇粉的制备工艺研究及其产品开发[D].武汉:华中农业大学,2019. [HU S. Study on the preparation technology and product development of *Stropharia rugosoannulata* powder[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2019.]
- [18] 李小林,陈诚,清源,等.会东县不同品种块菌挥发性香气成分的 GC-MS 分析[J].食品科学,2015,36(18):132-136. [LI X L, CHEN C, QING Y, et al. Analysis of volatile aroma components in different species of truffle in Huidong County by GC-MS[J]. Food Science, 2015, 36(18): 132-136.]
- [19] REI O, SHOJI K, MISAKI S, et al. Quality and microbial evaluation of fresh-cut apples during 10 days of supercooled storage[J]. Food Control, 2021, 126: 108014.
- [20] BRAAKSMA A, SCHAAP D J, SCHIPPER C M. Time of harvest determines the post-harvest quality of the common mushroom *Agaricus bisporus*[J]. Postharvest Biology and Technology, 1999, 16(2): 195-198.
- [21] 李志刚,宋婷,冯翠萍,等.不同温度对杏鲍菇减压贮藏品质的影响[J].农业工程学报,2015,31(3):332-338. [LI Z G, SONG T, FENG C P, et al. Effect of different storage temperature on hypobaric storage quality of *Pleurotus eryngii*[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(3): 332-338.]
- [22] 刘梦,张顺亮,臧明伍,等.牛肉干法成熟过程挥发性风味物质的变化规律[J].食品科学,2022,43(16):279-284. [LIU M, ZHANG S L, ZANG M W, et al. Dynamic changes of volatile compounds of beef during the dry-aging process[J]. Food Science, 2022, 43(16): 279-284.]
- [23] 赵宇.双孢蘑菇保鲜过程中风味物质变化[D].上海:上海应用技术大学,2019. [ZHAO Y. Changes of flavor substances during the preservation of *Agaricus bisporus*[D]. Shanghai: Shanghai Institute of Technology, 2019.]
- [24] YI C P, LI Y S, ZHU H, et al. Effect of *Lactobacillus plantarum* fermentation on the volatile flavors of mung beans[J]. LWT, 2021, 146: 111434.
- [25] ZHU Y F, CHEN J, CHEN X J, et al. Use of relative odor activity value (ROAV) to link aroma profiles to volatile compounds: Application to fresh and dried eel (*Muraenesox cinereus*)[J]. International Journal of Food Properties, 2020, 23(1): 2257-2270.
- [26] 王霆,负建民,毕阳,等.双孢蘑菇采后品质劣变过程中风味物质的变化规律[J].食品与发酵工业,2022,48(6):39-45. [WANG T, YUN J M, BI Y, et al. Study on the variation of flavor substances during the quality deterioration of *Agaricus bisporus*[J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(6): 39-45.]
- [27] 赵泽伟,丁筑红,许培振,等.基于 SPME-GC-MS 和电子鼻分析方法分析薏仁饮料贮藏过程风味化合物变化[J].食品科学,2018,39(14):276-281. [ZHAO Z W, DING Z H, XU P Z, et al. Change of flavor compounds in coix seed beverage during storage

- analyzed by SPME-GC-MS and electronic nose[J]. Food Science, 2018, 39(14): 276-281.]
- [28] 胡志全, 王海洋, 刘友明. 电子鼻识别大米挥发性物质的应用性研究[J]. 中国粮油学报, 2013, 28(7): 93-98, 3. [HU Z Q, WANG H Y, LIU Y M. Application of electronic nose to identify volatile substances in rice[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2013, 28(7): 93-98, 3.]
- [29] 章潇天, 张慇, 过志梅. 超声波-气调联合处理对番茄、丝瓜混合贮藏保鲜效果的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2020, 39(12): 62-70. [ZHANG X T, ZHANG M, GUO Z M. Effect of ultrasound combined with modified atmosphere packaging on preservation quality of tomato and loofah mixed storage[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2020, 39(12): 62-70.]
- [30] MAKARICHIAN A, AMIRI C R, AHMADI E, et al. Assessment the influence of different drying methods and pre-storage periods on garlic (*Allium sativum* L.) aroma using electronic nose[J]. Food and Bioproducts Processing, 2021, 2: 16.
- [31] 罗枫, 鲁晓翔, 张鹏, 等. 不同温度对货架期樱桃挥发性物质变化的影响[J]. 食品工业科技, 2015, 36(13): 347-351. [LUO F, LU X X, ZHANG P, et al. Study on aroma compounds of cherry under different temperature during shelf life[J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(13): 347-351.]
- [32] XUE Z H, HAO J F, YU W C, et al. Effects of processing and storage preservation technologies on nutritional quality and biological activities of edible fungi: A review[J]. Journal of Food Process Engineering, 2017, 40(3): 1.
- [33] 鲁焱兴. 真空预冷技术与气调包装延长香菇保藏期的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨商业大学, 2020. [LU Y X. Extending shelf life of *lentinus edodes* by vacuum pre-cooling and modified atmosphere packaging[D]. Harbin: Harbin University of Commerce, 2020.]
- [34] JAWORSKA G, SIDOR A, PYCIA K, et al. Packaging method and storage temperature affects microbiological quality and content of biogenic amines in *Agaricus bisporus* fruiting bodies[J]. Food Bioscience, 2020, 37: 100736.
- [35] 吴洋, 李逸钊, 何兴兴, 等. 不同贮藏温度下金玉兰菜的品质变化及其货架期预测[J]. 包装工程, 2022, 43(11): 115-125. [WU Y, LI Y Z, HE X X, et al. Quality change and shelf life prediction of *Cichorium intybus* L. var. *Foliosum* Hegi. at different storage temperatures[J]. Packaging Engineering, 2022, 43(11): 115-125.]
- [36] 刘聪, 李亚珍, 尹嘉敏, 等. 不同贮藏温度对磴口华莱士蜜瓜质构特性、理化指标、感官品质变化及相关性分析[J]. 中国瓜菜, 2022, 35(1): 47-53. [LIU C, LI Y Z, YIN J M, et al. Correlation analysis of changes in texture characteristics, physical and chemical indexes and sensory quality of Dengkou Hualaishi melon at different storage temperatures[J]. China Cucurbits and Vegetables, 2022, 35(1): 47-53.]
- [37] CUI K B, ZHAO H D, SUN L N, et al. Impact of near freezing temperature storage on postharvest quality and antioxidant capacity of two apricot (*Prunus armeniaca* L.) cultivars[J]. Journal of Food Biochemistry, 2019, 43(7): 110296.
- [38] ANTMANN G, ARES G, LEMA P, et al. Influence of modified atmosphere packaging on sensory quality of shiitake mushrooms[J]. Postharvest Biology and Technology, 2008, 49(1): 164-170.
- [39] 何奎, 负建民, 毕阳, 等. 纳米膜包装真姬菇贮藏期间挥发性风味成分变化分析[J]. 食品科学, 2021, 42(20): 160-166. [HE K, YUN J M, BI Y, et al. Changes of volatile flavor components in *Hypsizygus marmoreus* packaged with nano-film during storage[J]. Food Science, 2021, 42(20): 160-166.]
- [40] 李润, 杨焱, 刘晓风, 等. 食用菌风味影响因素及其评价研究进展[J]. 食用菌学报, 2020, 27(4): 202-214. [LI R, YANG Y, LIU X F, et al. Research progress on influential factors and evaluation of edible fungi flavor[J]. Acta Edulis Fungi, 2020, 27(4): 202-214.]