

真空充氮对双孢菇细胞膜及烫漂后颜色的影响

王安建, 刘丽娜, 魏书信, 李 静

(河南省农业科学院 农副产品加工研究所, 河南 郑州 450002)

摘要: 为了有效防止双孢菇褐变, 从菇体细胞膜和色泽两方面考虑, 在不同真空度下对双孢菇进行充氮处理, 检测其烫漂前的细胞膜透性、丙二醛含量和烫漂后的颜色变化, 从而找出真空充氮烫漂有效防止双孢菇褐变的最佳条件。结果表明, 随着真空度的提高, 双孢菇的细胞膜透性增大, 丙二醛含量增加, 两者均在真空度 0.100 MPa 时达到最大; 真空充氮处理能显著影响双孢菇烫漂后的颜色变化, 最佳处理是真空度 0.090 MPa 下充氮, 此时双孢菇的氧气含量为 3.8%, 褐变指数最小 (28.74), 褐变抑制率达 17.52%。综合分析, 真空充氮处理虽然不利于双孢菇细胞膜完整性的保持, 但与沸水烫漂结合, 能有效地抑制双孢菇的褐变, 是一种有效的物理调控防褐变技术。

关键词: 双孢菇; 真空充氮; 烫漂; 褐变; 膜透性

中图分类号: TS255 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-3268(2013)03-0131-04

Effect of Filling Nitrogen in Vacuum on Cell Membrane and Colour after Blanching in *Agaricus bisporus*

WANG An-jian, LIU Li-na, WEI Shu-xin, LI Jing

(Institute of Agricultural Products Processing, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: In order to effectively inhibit browning, *Agaricus bisporus* was treated by filling nitrogen in vacuum and blanching in different vacuum. The cell membrane permeability and malonaldehyde (MDA) level before blanching and colour change after blanching were investigated respectively. The results showed that the cell membrane permeability and MDA level increased with the increase of vacuum, and both reached maximum at vacuum of 0.100 MPa. However, filling nitrogen in vacuum could significantly impact mushroom colour after blanching, and the optimum condition of filling nitrogen in vacuum was at vacuum 0.090 MPa, oxygen content was 3.8% and the browning index of *Agaricus bisporus* was 28.74 with 17.52% of browning inhibition rate under this optimum condition. Overall, filling nitrogen in vacuum was not conducive to retain cell membrane integrity, but could effectively inhibit browning after blanching. Therefore, filling nitrogen in vacuum and blanching was an effective anti-browning technology.

Key words: *Agaricus bisporus*; filling nitrogen in vacuum; blanching; browning; membrane permeability

双孢菇在加工过程中容易发生褐变, 从而引起色泽、风味、营养成分的变化, 严重影响其外观、品质和经济价值^[1]。双孢菇褐变包括多酚氧化酶催化的酶促褐变和氧化反应引起的非酶促褐变, 其中酶促褐变是主要类型^[2]。双孢菇在采收之前, 其细胞处

于完整状态, 酚类物质和酶在细胞中呈区域化状态分布, 当其组织或细胞被破坏后, 细胞膜系统的稳定性被破坏, 酶与底物接触发生氧化反应生成有色物质, 形成褐变, 从而影响双孢菇的外观和风味。氧气是多酚氧化酶的底物之一, 从理论上讲, 除去果蔬贮

收稿日期: 2012-11-20

基金项目: 河南省重点科技攻关项目 (102102110015)

作者简介: 王安建 (1969-), 男, 新疆阿克苏人, 副研究员, 硕士, 主要从事农产品加工与贮藏保鲜研究。

E-mail: nkyjgs@163.com

存、加工过程中的氧气能防止酶促褐变的发生^[3]。研究表明,沸水烫漂和抽真空均可去除果蔬自身的溶解氧^[4]。真空充氮烫漂将两者有机结合,运用一种新型的果蔬烫漂设备^[5],先通过抽真空形成低氧环境,去除果蔬自身的溶解氧,然后充入氮气以破除真空,同时将沸水强行快速渗入双孢菇组织内部,从而去除细胞间隙的气体 and 抑制酶活,达到抑制褐变的目的。鉴于此,本研究首次运用自行开发的真空脱氧充氮烫漂设备^[5],对双孢菇进行真空脱氧充氮和沸水烫漂处理,考察了不同真空度下充氮处理对双孢菇细胞膜透性和烫漂后颜色的影响,为双孢菇的加工利用提供理论依据和技术指导。

1 材料和方法

1.1 试验材料

双孢菇采自河南省西平县食用菌培养基地,采后立即运至实验室冷库,于 0~2 °C 保存备用。

1.2 试验仪器

TG328A(S)分析天平(上海精密科学仪器有限公司)、BS-300A 电子天平(上海友声衡器有限公司)、DS-1 高速组织捣碎机(上海标本模型厂制造)、DZQ400-2D 单室真空包装机(上海鼎利轻工机械制造有限公司)、真空充氮烫漂设备(河南省农业科学院农副产品加工研究所研制^[5])、艾柯超纯水机(台湾艾柯成都康宁实验专用纯水设备厂)、OXYBABY 测氧仪(WITT-GASETECHNIK GmbH & Co KG)、Hunterlab ColorFlex EZ 色差仪(美国 Hunterlab 公司)、FE20 型 pH 计(上海梅特勒-托利多仪器有限公司)、FE30 型电导率仪(上海梅特勒-托利多仪器有限公司)、DF-101S 型集热式恒温加热磁力搅拌器(巩义市予华仪器有限公司)、TD5Z 台式低速离心机(上海菲恰尔分析仪器有限公司)、UV-2802PC 型紫外可见分光光度计(上海尤尼柯仪器有限公司)。

1.3 真空充氮烫漂工艺流程

工艺流程:材料选择—切片—取样—真空充氮烫漂—冷却、沥干—检测相关指标。

具体操作步骤:挑选菇体完整、颜色洁白、菇盖未开伞、无病虫害、无机械损伤、子实体大小基本一致的双孢菇进行切根,留取 2 cm 左右的菇根,然后手工纵向把双孢菇等分为 8 份,以保证对比材料的一致性。将菇体和烫漂液分别置于密闭容器内,将其抽至一定真空度(0、0.050、0.060、0.070、0.080、0.090、0.095、0.100 MPa),使其中的氧气快速逸出,然后分别进行充氮处理和充氮烫漂处理。充氮

处理:直接充入氮气恢复至常压,然后测定双孢菇细胞膜透性和丙二醛(MDA)含量。充氮烫漂处理:利用压力差将烫漂液压入容器内对菇体进行烫漂(4 min),同时充入氮气恢复至常压。将充氮烫漂过的菇片,立即置于滤网上,冷却、沥水 15 min,然后进行氧气含量测定和颜色评价。

1.4 测定指标与方法

1.4.1 颜色评价 参照文献[6]中的方法进行。称取一定量菇片,以 1:2.5 料液比加水打浆,用色差仪测定浆液的 L^* 、 a^* 、 b^* 值,仪器用标准白板($L^*=94.12$; $a^*=-1.09$; $b^*=2.13$)进行校正,色差仪测量范围: L^* 为 0~100(从黑到白), a^* 为 -128~127(从绿到红), b^* 为 -128~127(从蓝到黄)。分别按照公式(1)和(2)计算反映褐变程度的褐变指数(browning index, BI)和反映不同处理抑制褐变作用的褐变抑制率(browning inhibition rate, BIR)。

$$BI=100(x-0.31)/0.172 \quad (1)$$

$$BIR=(BI_{WB}-BI_{PB})/BI_{WB} \times 100\% \quad (2)$$

其中, $x=(a^*+1.75L^*)/(5.645L^*+a^*-3.012b^*)$, BI_{WB} 为仅沸水烫漂处理的褐变指数, BI_{PB} 为经过真空充氮烫漂处理的褐变指数。

1.4.2 细胞膜透性的测定 参照文献[7]中的方法进行。随机取未经真空充氮处理和真空充氮处理过的双孢菇菇片各 6 个,将菇柄中心部位切成 0.5 cm×0.5 cm×0.5 cm 大小的方块,称取 2 g 样品,平行 3 份,用蒸馏水洗涤样品 3 次,滤纸吸干后加入 25 mL 蒸馏水中,常温放置 30 min,测定浸提液的电导率(S_1),然后在沸水中浸提 5 min,冷却后,补充蒸馏水至原刻度,再测定浸提液的电导率(S_2),并测定蒸馏水的电导率(S_0)。细胞膜透性用相对电导率表示^[8],相对电导率= $(S_1-S_0)/(S_2-S_0) \times 100\%$ 。

1.4.3 MDA 含量测定 采用硫代巴比妥酸法^[9]。随机取未经真空充氮处理和真空充氮处理过的双孢菇菇片各 3 个,称取同一部位的样品 0.50 g,平行 3 份,加入 2 mL 预冷的 0.05 mol/L pH 值 7.8 的磷酸缓冲液,加入少量石英砂,在冰浴的研钵内研磨成匀浆,转移至 5 mL 刻度离心管中,用磷酸缓冲液定容至 5 mL,4 500 r/min 离心 10 min,上清液即为丙二醛提取液。吸取 2 mL 提取液于刻度离心管中,加入含 0.5% 硫代巴比妥酸的 5% 三氯乙酸溶液 3 mL,沸水浴 10 min,然后迅速冷却,于 4 500 r/min 离心 10 min。取上清液于 450、532、600 nm 波长下,以蒸馏水为空白对照,测定吸光度,重复测

定3次,取平均值。MDA含量(mmol/g)= $[6.452 \times (D_{532} - D_{600}) - 0.559 \times D_{450}] \times V_t / (V_s \times W)$,其中, V_t 为提取液总体积(mL), V_s 为测定用提取液体积(mL), W 为样品鲜质量(g)。

1.4.4 氧气含量的测定 采用OXYBABY测氧仪直接进行测定,重复3次,取平均值。

1.5 数据分析

采用SPSS 11.5统计软件中的Duncan法进行处理间的差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 真空充氮对双孢菇细胞膜透性的影响

由图1可知,随着真空度的增加,双孢菇的相对电导率逐渐增加,细胞膜透性逐渐增大。当真空度在0.050~0.090 MPa时,相对电导率增加较缓慢,从15.11%增加至17.39%;当空度达0.100 MPa时,相对电导率则迅速上升至19.85%。由此可见,真空充氮处理可以增加双孢菇相对电导率,加剧了对细胞膜完整性的破坏。

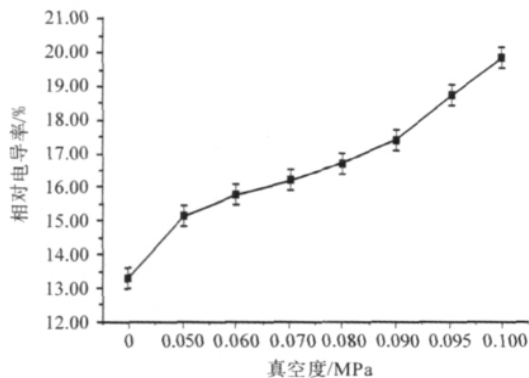


图1 真空度与双孢菇细胞膜透性的关系

2.2 真空充氮对双孢菇MDA含量的影响

MDA是膜脂氧化的最终产物,其积累可对细胞膜造成一定的伤害,其含量可反映细胞膜受损伤的程度^[10]。由图2可知,随着真空度从0.050 MPa增

加至0.100 MPa,双孢菇MDA含量从0.914 mmol/g缓慢增加至0.966 mmol/g。由此可见,真空充氮处理使双孢菇的MDA含量增加,这表明真空充氮处理可增强双孢菇膜脂过氧化作用。

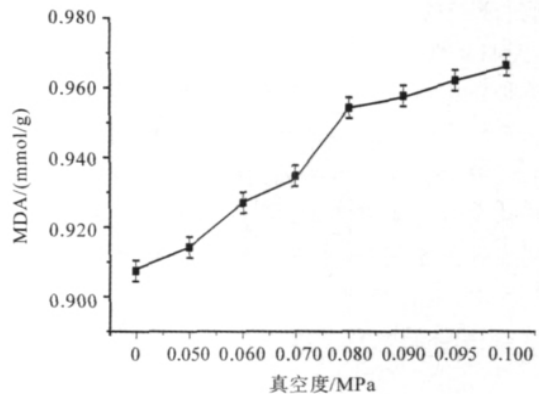


图2 真空度与双孢菇MDA含量的关系

2.3 真空充氮对双孢菇褐变度的影响

从表1可以看出,不同真空度下充氮烫漂对双孢菇菇片的 L^* 值和 BI 均有显著影响。与常压状态下相比,不同真空度下充氮烫漂,既可以显著提高菇片 L^* 值,也能显著降低菇片 BI 值,对双孢菇褐变存在不同程度的抑制作用。其中,0.090 MPa下充氮烫漂效果最好, BI 值达到最小,为28.74;在0.100 MPa条件下,菇片 L^* 值虽然最高,但 b^* 值显著高于对照,致使菇片偏黄,褐变抑制率最低,仅为5.47%。

从表1还可以看出,随着真空度的增加,双孢菇中氧气含量首先从17.7%降至3.8%,在此过程中,由于氧气含量降低,酶促褐变减少, BI 也随之降低;当氧气含量继续降低至2.1%,此过程中 BI 反而升高,这可能是因为,真空度越高越不利于双孢菇细胞膜完整性的保持,反而加剧褐变。综合分析,当真空度达到0.090 MPa时,氧气含量为3.8%, BI 最低, BIR 达17.52%,抑制褐变效果显著。因此,真空充氮结合沸水烫漂处理是抑制双孢菇褐变的一种有效方法。

表1 不同真空度下充氮处理对双孢菇烫漂后颜色的影响

真空度/MPa	氧气含量/%	L^*	a^*	b^*	BI	$BIR/\%$
0	17.7	51.73±0.07f	3.16±0.02ab	13.92±0.06b	34.84±0.12a	—
0.050	15.1	52.39±0.32e	3.23±0.05a	12.49±0.11de	30.91±0.15c	11.27±0.42d
0.060	8.2	53.08±0.44d	3.11±0.06ab	12.45±0.07de	30.19±0.10d	13.35±0.30c
0.070	6.6	53.52±0.16c	3.03±0.01bc	12.41±0.06e	29.72±0.19de	14.70±0.55bc
0.080	5.3	54.06±0.11b	2.83±0.19de	12.62±0.11d	29.58±0.45e	15.11±1.30b
0.090	3.8	54.78±0.14a	2.77±0.04e	12.47±0.07de	28.74±0.16f	17.52±0.45a
0.095	2.9	54.80±0.15a	2.82±0.08de	13.43±0.19c	31.01±0.43c	10.99±1.24d
0.100	2.1	54.83±0.15a	2.94±0.08cd	14.19±0.11a	32.93±0.38b	5.47±1.08e

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

3 结论与讨论

双孢菇的褐变主要是因为其内部的酚类物质在多酚氧化酶和氧气的作用下生成醌,醌再进一步聚合或与其他物质结合生成有色物质而引起的。因此,抑制双孢菇的酶促褐变可从三方面入手:减少多酚类物质含量、控制多酚氧化酶活性和降低氧气浓度。本研究所利用的真空充氮烫漂处理主要是从降低氧气浓度和控制多酚氧化酶活性两方面来抑制双孢菇褐变。结果表明,真空充氮烫漂能显著影响双孢菇的颜色变化,但不同真空度下其对褐变的抑制效果不同,最佳处理是 0.090 MPa 真空度下充氮,此时双孢菇的氧气含量为 3.8%,褐变抑制率达 17.52%。

双孢菇受到损伤或处于逆境时,会造成膜脂过氧化,细胞膜的选择透性逐渐丧失,这种细胞膜结构的变化破坏了酪氨酸酶与酚类底物在细胞中的区域化分布,为酶与底物的接触创造有利条件^[2]。许多研究表明^[11-12],维持子实体中细胞膜的完整性和选择透性对抑制酶促褐变有积极作用。但本研究结果表明,真空充氮处理不利于双孢菇细胞膜完整性的保持,随着真空度的增加,细胞膜透性增加,MDA 含量升高,两者均在真空度 0.100 MPa 时达到最大。

在加工过程中,防止双孢菇褐变处理的关键是要在短时间内完成对多酚氧化酶的钝化。真空充氮处理破坏了细胞膜结构,不利于细胞膜完整性的保持,从理论上讲不利于褐变的控制,但与沸水烫漂结合后,既很好地控制了酶促褐变反应的条件之一即氧气的含量,同时又能利用真空强化沸水渗透进入双孢菇组织内部,达到快速钝化酶活的目的,从而有效抑制了双孢菇的褐变。

本研究表明,真空充氮烫漂防褐变效果显著,是一种有效的物理调控防褐变技术,其技术参数易于

操作控制,可以推广应用于实际生产。

参考文献:

- [1] 冯景刚. 中国食用菌产业发展概况[J]. 新农业, 2009(2): 54-55.
- [2] 刘吟. 双孢蘑菇采后褐变的相关生理生化变化及其保鲜技术研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2010.
- [3] 谢雯君, 林启训, 王则金, 等. 双孢蘑菇涂膜保鲜技术研究[J]. 中国农学通报, 2005, 21(10): 72-76.
- [4] 贺正芳. 食品的酶促褐变及其控制[J]. 广州食品工业科技, 1986(4): 16-20.
- [5] 王安建, 田广瑞, 魏书信, 等. 一种果蔬脱氧充氮烫漂设备: 中国, ZL201120445515.4[P]. 2012-07-25.
- [6] Jiang T J, Zheng X L, Li J R, et al. Integrated application of nitric oxide and modified atmosphere packaging to improve quality retention of button mushroom (*Agaricus bisporus*) [J]. Food Chemistry, 2011, 126: 1693-1699.
- [7] Wang Y S, Tian S P, Xu Y. Effects of high oxygen concentration on pro- and anti-oxidant enzymes in peach fruit during postharvest periods[J]. Food chemistry, 2005, 91(1): 99-104.
- [8] 林河通. 橄榄果实采后呼吸变化和外源乙烯处理的生理效应[J]. 福建农业大学学报, 1997, 26(4): 416-420.
- [9] 高俊凤. 植物生理学试验技术[M]. 西安: 世界图书出版公司, 2000.
- [10] 林河通, 席玟芳, 陈绍军. 龙眼果实采后失水果皮褐变与活性氧及酚类代谢的关系[J]. 植物生理与分子生物学报, 2005, 31(3): 287-297.
- [11] 王颖, 李里特, 丹阳, 等. 多胺同植物代谢及果品贮藏保鲜的关系[J]. 食品科学, 2003, 24(2): 164-167.
- [12] Hong S J, Lee S K. Changes in endogenous putrescine and the relationship to the ripening of tomato fruits [J]. Journal of Korean Society for Horticultural Science, 1996, 37: 369-373.