

高氧气调后续效应对双孢蘑菇货架品质的影响

王相友 张 惠 李 玲 刘战丽

(山东理工大学农业工程与食品科学学院, 淄博 255049)

摘要: 双孢菇在 $(3 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 高氧气调下分别贮藏3 d、5 d后, 包装(自发性气调包装)并置于 $(3 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 环境(模拟超市保鲜柜)与 $(20 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 的环境(模拟常温销售)中, 通过对白度、硬度、失重率、呼吸速率、可溶性糖含量等指标的测定, 探究高氧气调的后续效应对双孢菇货架品质的影响。结果表明: 经高氧气调后的双孢菇在 $(3 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 下仍能保持较好的品质, 而且效果优于一直进行高氧气调的双孢菇; 气调处理3 d后包装的双孢菇品质优于处理5 d后包装的双孢菇。其中 $80\% \text{O}_2 + 20\% \text{N}_2$ 处理的双孢菇包装后效果较好。冷藏5 d后包装的双孢菇在 $(20 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 下能保持较好的销售品质, 其次是 $100\% \text{O}_2$ 5 d、 $100\% \text{O}_2$ 3 d、冷藏3 d。经 $80\% \text{O}_2 + 20\% \text{N}_2$ 处理3 d、5 d后包装的双孢菇放于 $(20 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 的环境中, 品质劣变加快。本试验的研究结果表明: $80\% \text{O}_2 + 20\% \text{N}_2$ 处理的后续效应对双孢菇在 $(3 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 中的货架品质保持有较好的效果, 但处于 $(20 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 的环境中品质劣变明显, 研究结果可为双孢菇的保鲜和销售提供一定的理论依据。

关键词: 双孢蘑菇; 高氧气调; 保鲜; 后续效应; 货架品质

中图分类号: TS255.3 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2017)07-0309-08

Influences of High Oxygen Atmosphere Follow-up Effect on Shelf-life of *Agaricus bisporus*

WANG Xiangyou ZHANG Hui LI Ling LIU Zhanli

(School of Agricultural and Food Engineering, Shandong University of Technology, Zibo 255049, China)

Abstract: After 3 d or 5 d storage at temperature of $(3 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ under high oxygen atmosphere, *Agaricus bisporus* was packaged (modified atmosphere packaging) and placed at $(3 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ (simulated supermarket fresh cabinet) and $(20 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ (simulated room temperature sales). The objects were to research the subsequent effects of high oxygen atmosphere on the shelf-quality of *Agaricus bisporus* by measuring the whiteness, hardness, weight loss rate, respiration rate and soluble sugar content. Results showed that *Agaricus bisporus* after treatment in high oxygen atmosphere could still maintain good quality at $(3 \pm 0.5)^\circ\text{C}$. The effect was better than that stored under high oxygen environment all the time. The quality of *Agaricus bisporus* stored after 3 d was better than that after 5 d. The best quality appeared after treatment in $80\% \text{O}_2$. The quality of that refrigerated for 5 d at $(20 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ was the best, which was followed by those of $100\% \text{O}_2$ 5 d, $100\% \text{O}_2$ 3 d and refrigerated for 3 d. The quality deterioration of *Agaricus bisporus* was accelerated under $80\% \text{O}_2$ treatment at $(20 \pm 0.5)^\circ\text{C}$. Therefore, the results indicated that the subsequent effects on the shelf-quality of *Agaricus bisporus* stored in $80\% \text{O}_2$ had preferable influence, while the quality deterioration at $(20 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ was obvious. When placed at $(3 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ and $(20 \pm 0.5)^\circ\text{C}$, the packaged *Agaricus bisporus* after treatment in $80\% \text{O}_2$ were obviously different in whiteness. By comparison, the packaged *Agaricus bisporus* after treatment in $100\% \text{O}_2$ and refrigerated was more suitable to distribution at ambient temperature. Thereby, the research provided certain theoretical basis for the preservation and sale of *Agaricus bisporus*.

Key words: *Agaricus bisporus*; high oxygen atmosphere; preservation; subsequent effect; shelf quality

收稿日期: 2016-11-01 修回日期: 2017-01-14

基金项目: 国家自然科学基金项目(31301570)

作者简介: 王相友(1961—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事农产品加工技术与装备研究, E-mail: wxy@sdut.edu.cn

引言

双孢蘑菇,又名双孢菇,含有丰富的蛋白质及易被人体吸收的碳水化合物^[1],且各营养成分比例合理^[2],具有较好的保健作用。

双孢菇是一种大型真菌,采后的双孢菇子实体会继续发育,产生并释放孢子,并伴随菌柄生长、菌伞开放。在此过程中,会不断利用子实体中的营养成分,如可溶性糖、蛋白质与水分等,从而导致双孢菇营养价值降低,并逐渐失去商品价值^[3]。双孢菇采后品质的变化主要表现为褐变、采后继续生长、失重和质地的变化^[4]。此外含水率高达90%以上是双孢菇相比其他果蔬另外一个重要的特点,双孢菇的保鲜难度也因此加大。目前,常见的双孢菇保鲜方法有气调保鲜、低温冷藏、化学保鲜、减压贮藏、涂膜保鲜等^[5]。高氧气调因其安全、无残留、保鲜效果明显等特点,受到广泛关注,有研究表明,高氧气调贮藏能够很好地保鲜双孢菇^[6]。此外有研究表明低温有利于延缓双孢菇在贮藏过程中品质劣变和衰老进程^[7]。

目前,关于高氧气调后的双孢菇进入货架期后,是否会产生后续的影响,尚未见报道。本文为了明确高氧气调对双孢菇货架品质的影响,对双孢菇经过高氧气调贮藏不同时间后,进行自发性气调包装,然后分别置于2种环境温度下,分别模拟超市保鲜柜和常温销售柜温度。试验对双孢菇从采后至处理,再到包装,一直到试验结束,作为一个处理的完整内容,研究不同处理,在相同时间下的货架品质,以及相同处理,在不同处理时间后包装双孢菇的货架品质。通过测定双孢菇的各项生理指标的变化,探讨高氧气调后续效应对双孢菇货架期品质的影响,从而为双孢菇的保鲜和销售提供一定的理论依据。

1 材料、仪器与方法

1.1 试验材料

双孢菇(约20 kg,均为当天采摘的新鲜双孢菇,菌盖直径3~4 cm,菇体白嫩,无损伤)采购于淄博市张店区石村批发市场,之后立即运回山东理工大学实验室,选取新鲜洁白、无损伤、无开伞、大小基本一致的双孢菇进行试验。果蔬专用保鲜膜为南亚保鲜膜(PVC材料,30 cm×400 m)。保鲜盒为市售塑料保鲜盒(1 000 mL)。

1.2 仪器与设备

多功能活动冷库,淄博三洋制冷工程有限公司;SC-80C型全自动色差计,北京康光仪器有限公司;

GY-1型硬度计,牡丹江市机械研究所;QGS-08B型O₂/CO₂呼吸测定仪,北京北分麦哈克分析仪器有限公司;TGL-20M型高速冷冻离心机,湖南湘仪实验室仪器开发有限公司;UV-2550型紫外可见分光光度计,岛津国际贸易(上海)有限公司。

1.3 方法

1.3.1 样品处理

挑选出可用于试验的双孢菇,放入2.5~3.5℃的冷库中预冷24 h,然后分3组进行试验。2组为试验组,分别是80% O₂+20% N₂(2种气体按体积分数80%和20%混合)和100% O₂(每天用真空泵将真空压缩袋抽真空,然后利用比例已配好的80% O₂+20% N₂、100% O₂的气体罐进行充气,保证真空压缩袋中始终有充足的气体)处理的双孢菇,以同温度下自然空气作为对照组。处理3 d后,将对照组、试验组中一部分双孢菇进行包装(将一定数量的双孢菇放入到保鲜盒中,利用南亚保鲜膜进行密封包装),然后分别放入(3±0.5)℃、(20±0.5)℃的环境中(分别模拟超市保鲜柜、常温销售柜的温度)。其余部分继续进行冷藏和气调处理,包装后的双孢菇和剩余部分均每隔1 d测定一次指标。处理5 d后再将对照组、试验组剩余的一部分双孢菇按照超市的包装方式进行包装,同样分别放入(3±0.5)℃、(20±0.5)℃的环境中。试验周期为12 d,预冷当天为第0天,直到第12天试验结束,试验过程中每隔1 d测定一次指标,每个指标重复测定3次。其中:试验结果分析中的冷藏3 d、80% O₂ 3 d、100% O₂ 3 d指双孢菇在包装前分别经冷藏、80% O₂+20% N₂、100% O₂处理了3 d,而冷藏5 d、80% O₂ 5 d、100% O₂ 5 d则是指双孢菇在包装前分别经冷藏、80% O₂+20% N₂、100% O₂处理了5 d。具体试验流程如图1所示。

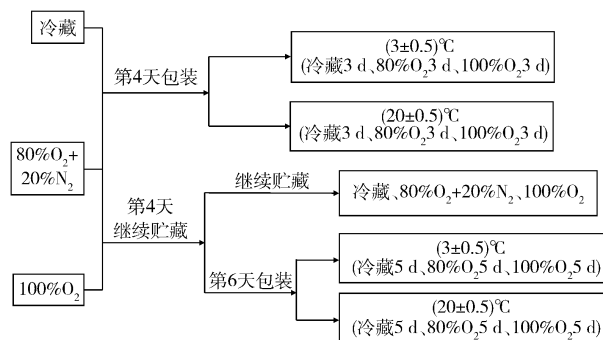


图1 试验流程图

Fig. 1 Experimental flow chart

1.3.2 指标测定

(1) 白度

采用SC-80C型全自动色差计测定双孢菇的菌

盖、菇肉的白度。具体操作参照朱继英等^[8]的方法。

(2) 硬度

采用 GY-1 型硬度计进行测定,参照王娟等^[9]的方法。

(3) 呼吸速率

采用 QGS-08B 型呼吸测定仪进行测定,每处理组选取 3 或 4 个双孢菇放入广口玻璃瓶中,然后密封,用该仪器测定广口瓶中 O_2 、 CO_2 初始含量,然后再次密封,在样品原来的贮藏或销售环境中放置 4 h 后取出,利用呼吸测定仪再次测定广口瓶中 O_2 、 CO_2 的含量,呼吸速率的计算公式为

$$R_{CO_2} = \frac{(C_{CO_2}^t - C_{CO_2}^1) V}{M(t_f - t_1)}$$

式中 $C_{CO_2}^1$ ——测量初始时间 t_1 时 CO_2 的体积分数, %

$C_{CO_2}^t$ ——测量时间 t_f 时 CO_2 的体积分数, %

V ——密封的自由体积, mL

M ——样品的质量, kg

(4) 失重率

参照许英超等^[10]的方法操作。

(5) 蛋白质

蛋白质的测定参照 BRADFORD 等^[11-12]的方法测定。

(6) 可溶性总糖

可溶性总糖的测定采用 3,5-二硝基水杨酸法,参照史琦云等^[13]的方法。

1.4 数据统计分析

采用 Origin 软件进行数据分析,试验数据采用邓肯氏(Duncan's)差异性分析,以 $P > 0.05$ 判断为不显著, $P < 0.05$ 判断为显著性差异,以 $P < 0.01$ 判断为极显著性差异,通过软件 Excel 进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 菌盖白度

白度是评价双孢菇商品价值比较重要也是较为直观的指标,采后双孢菇在贮藏过程中会因组织中

的多种酚类物质氧化引起褐变,对于销售中的双孢菇,褐变会严重影响其商品价值^[14]。试验比较了 80% O_2 + 20% N_2 、100% O_2 、对照组以及各个处理在不同储藏时间后进行包装后双孢菇白度的变化情况。由表 1、2 可以看出,80% O_2 + 20% N_2 处理 3 d、5 d 后包装的双孢菇品质要优于 80% O_2 + 20% N_2 贮藏组(0 ~ 10 d 内,菌盖白度下降较小),通过数据分析,80% O_2 + 20% N_2 处理 3 d、5 d 后包装的双孢菇第 10 天、12 天的菌盖白度均与 80% O_2 + 20% N_2 贮藏组菌盖白度差异性显著($P < 0.05$),其中 80% O_2 处理 3 d 后包装的效果较好;100% O_2 处理 3 d、5 d 包装后的白度同样比 100% O_2 处理好,但处理 5 d 后包装的双孢菇菌盖白度与处理 3 d 后包装的双孢菇除第 12 天外,差异不显著($P > 0.05$)。此外,一直进行冷藏与冷藏不同时间后进行包装相比没有显著性差异($P > 0.05$)。在(3 ± 0.5) °C 环境中,各处理的白度在 10 d 内菌盖白度都在可接受范围内^[15]。对菌盖白度而言,高氧气调处理一段时间之后进行包装,其效果优于一直气调处理。冷藏处理的双孢菇在包装前后品质差异不大。

表 1 (3 ± 0.5) °C 贮藏条件下菌盖白度的变化

Tab.1 Change of whiteness of pileus stored at (3 ± 0.5) °C

时间/d	冷藏	80% O_2 + 20% N_2	100% O_2
0	89.28 ± 0.33 ^a	89.28 ± 0.33 ^a	89.28 ± 0.33 ^a
2	87.64 ± 0.80 ^a	88.07 ± 0.60 ^a	87.86 ± 0.42 ^a
4	86.25 ± 0.55 ^a	86.35 ± 0.52 ^a	87.16 ± 0.33 ^a
6	84.85 ± 0.09 ^a	84.81 ± 0.85 ^a	84.78 ± 0.28 ^a
8	83.57 ± 0.30 ^a	83.61 ± 0.57 ^a	83.69 ± 0.35 ^a
10	82.88 ± 0.24 ^a	80.43 ± 0.83 ^b	80.07 ± 0.45 ^b
12	79.69 ± 0.21 ^a	79.04 ± 0.93 ^a	78.97 ± 0.69 ^a

注:同行不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$),下同。

由表 3 可知,双孢菇经过冷藏及高氧处理 3 d、5 d 后包装放入(20 ± 0.5) °C 销售环境中,相比(3 ± 0.5) °C 的销售环境,货架期明显缩短,货架期为 6 d,在第 4 天包装的双孢菇,可放置时间为 4 ~ 10 d,在第 6 天包装的双孢菇,可放置时间为 6 ~ 12 d。此外,相比(3 ± 0.5) °C 的双孢菇,在相同时间内,菌盖白度下降较大,如 100% O_2 3 d 在(3 ± 0.5) °C 环境中,在 4 ~ 10 d 内菌盖白度从 87.16 下降为 82.86,

表 2 (3 ± 0.5) °C 货架温度中菌盖白度的变化

Tab.2 Change of whiteness of pileus stored at shelf-temperature of (3 ± 0.5) °C

时间/d	冷藏 3 d	80% O_2 3 d	100% O_2 3 d	冷藏 5 d	80% O_2 5 d	100% O_2 5 d
4	86.25 ± 0.55 ^a	86.35 ± 0.52 ^a	87.16 ± 0.33 ^a			
6	85.01 ± 0.37 ^a	85.45 ± 0.78 ^a	85.02 ± 0.81 ^a	84.85 ± 0.09 ^a	84.81 ± 0.85 ^a	84.78 ± 0.28 ^a
8	83.51 ± 0.50 ^b	85.32 ± 0.39 ^a	83.96 ± 0.66 ^{ab}	84.52 ± 0.41 ^{ab}	83.45 ± 0.90 ^b	84.63 ± 0.29 ^{ab}
10	82.88 ± 0.47 ^a	83.68 ± 0.09 ^a	82.86 ± 0.86 ^a	82.89 ± 0.45 ^a	83.19 ± 0.73 ^a	83.12 ± 1.00 ^a
12	80.30 ± 0.50 ^{bc}	82.13 ± 0.83 ^a	79.68 ± 0.71 ^c	79.09 ± 0.36 ^c	79.04 ± 0.38 ^c	81.31 ± 0.62 ^{ab}

表3 (20±0.5)℃货架温度中菌盖白度的变化

Tab.3 Change of whiteness of pileus stored at shelf-temperature of (20±0.5)℃

时间/d	冷藏 3 d	80% O ₂ 3 d	100% O ₂ 3 d	冷藏 5 d	80% O ₂ 5 d	100% O ₂ 5 d
4	86.25±0.56 ^a	86.35±0.52 ^a	87.16±0.33 ^a			
6	83.52±0.23 ^b	84.01±0.57 ^{ab}	83.81±0.04 ^{ab}	84.85±0.08 ^a	84.81±0.85 ^a	84.78±0.28 ^a
8	82.66±0.18 ^b	83.21±0.34 ^a	81.91±0.72 ^b	84.41±0.55 ^a	81.20±0.85 ^c	84.55±0.28 ^a
10	81.27±0.86 ^c	79.90±0.01 ^d	79.12±0.23 ^d	83.47±0.23 ^a	79.19±0.14 ^d	82.85±0.28 ^b
12				73.98±0.05 ^b	77.03±0.74 ^a	74.67±0.42 ^b

在(20±0.5)℃温度下,相同时间内菌盖白度则从87.16下降为79.12。但经过高氧及冷藏处理3 d后包装的双孢菇,在8 d之内,菌盖白度均在可接受范围之内。冷藏、100% O₂处理的双孢菇在处理5 d后进行包装,能够在6~10 d内保持较高的白度并且与其他各组之间差异显著($P<0.05$)。处理5 d后包装的双孢菇在第10天后白度明显下降。整体而言,在(20±0.5)℃环境中,冷藏、100% O₂处理的双孢菇在5 d后进行包装,效果优于3 d后包装,但是80% O₂处理的双孢菇在处理5 d后进行包装,菌盖白度下降较大,在试验中发现,经过80% O₂处理3 d后包装的双孢菇表皮有一定程度的黄化,与文献[16]结果相近,然而该现象在(3±0.5)℃环境中未发现,从而推断,经过80% O₂气调处理后,包装放于常温环境下,对菌盖白度影响较大。另外,在2种货架温度中,双孢菇菇肉白度也有类似变化。

2.2 菇肉白度

由表4、5可看出,在(3±0.5)℃环境中,各处理均为处理3 d后包装的菇肉白度要比处理5 d包装及对照组、试验组白度高,且差异显著($P<0.05$)。此外,经过冷藏、80% O₂+20% N₂处理5 d后包装的双孢菇要比对照组、试验组白度高。总体

而言,菇肉白度的试验结果规律性较好,处理3 d后包装的双孢菇菇肉白度优于处理5 d后进行包装的双孢菇。5 d后包装的菇肉白度优于对照组、试验组。其中80% O₂ 3 d的菇肉白度较好,其次是冷藏3 d、100% O₂ 3 d。

表4 (3±0.5)℃贮藏条件下菇肉白度的变化

Tab.4 Change of whiteness of *Agaricus bisporus* flesh stored at (3±0.5)℃

时间/d	冷藏	80% O ₂ + 20% N ₂	100% O ₂
0	94.06±0.36 ^a	94.06±0.36 ^a	94.06±0.36 ^a
2	86.75±0.38 ^b	88.49±0.09 ^a	88.10±0.13 ^a
4	85.75±0.08 ^a	87.75±0.54 ^a	86.39±0.61 ^a
6	83.68±0.01 ^a	82.17±0.43 ^b	81.34±0.01 ^c
8	78.73±0.64 ^a	79.69±0.91 ^{ab}	77.00±0.06 ^b
10	77.01±0.59 ^a	77.39±0.61 ^a	73.27±0.45 ^b
12	75.67±0.05 ^a	75.45±0.49 ^b	72.94±0.35 ^c

由表6可看出,在(20±0.5)℃环境中,双孢菇菇肉白度下降较快,且各处理之间从第6天开始差异显著($P<0.05$)。其中冷藏5 d的菇肉白度相比其他处理,菇肉白度较高,10 d后白度迅速下降,在第12天时白度与100% O₂ 5 d相近。在(20±0.5)℃环境中,80% O₂ 3 d、80% O₂ 5 d白度较其他处理偏低,差异显著($P<0.05$)。

表5 (3±0.5)℃货架温度中菇肉白度的变化

Tab.5 Change of whiteness of *Agaricus bisporus* flesh stored at shelf-temperature of (3±0.5)℃

时间/d	冷藏 3 d	80% O ₂ 3 d	100% O ₂ 3 d	冷藏 5 d	80% O ₂ 5 d	100% O ₂ 5 d
4	85.75±0.08 ^a	87.75±0.01 ^a	86.39±0.61 ^a			
6	85.65±0.30 ^a	85.04±0.10 ^a	85.47±0.31 ^a	83.68±0.01 ^b	82.17±0.43 ^c	81.34±0.01 ^d
8	83.13±0.79 ^a	83.95±0.90 ^a	81.58±0.83 ^b	79.25±0.88 ^c	80.18±0.24 ^{bc}	77.04±0.13 ^d
10	82.39±0.21 ^a	83.01±0.60 ^a	78.52±0.31 ^b	78.05±0.30 ^b	78.47±0.04 ^b	74.05±0.36 ^c
12	78.28±0.30 ^b	79.69±0.50 ^a	77.13±0.37 ^c	76.36±0.08 ^c	76.88±0.11 ^c	73.81±0.74 ^d

表6 (20±0.5)℃货架温度中菇肉白度的变化

Tab.6 Change of whiteness of *Agaricus bisporus* flesh stored at shelf-temperature of (20±0.5)℃

时间/d	冷藏 3 d	80% O ₂ 3 d	100% O ₂ 3 d	冷藏 5 d	80% O ₂ 5 d	100% O ₂ 5 d
4	85.75±0.08 ^b	87.75±0.54 ^a	86.39±0.61 ^a			
6	82.91±0.41 ^b	83.68±0.12 ^b	83.49±0.17 ^b	84.85±0.08 ^a	84.81±0.85 ^a	84.78±0.28 ^a
8	78.84±0.35 ^c	71.01±0.13 ^c	80.41±0.23 ^b	83.65±0.30 ^a	69.80±0.56 ^f	77.18±0.50 ^d
10	77.97±0.03 ^c	70.22±0.88 ^e	79.79±0.48 ^b	82.63±0.05 ^a	69.50±0.01 ^e	75.62±0.63 ^d
12				76.09±0.04 ^a	68.88±0.15 ^b	75.49±0.85 ^a

整体而言,在 $(20 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 环境中,冷藏3 d、5 d后包装的双孢菇菇肉白度略好于 $100\% \text{O}_2$ 处理3 d、5 d后包装的双孢菇,相比之下, $80\% \text{O}_2 + 20\% \text{N}_2$ 处理后包装的双孢菇菇肉白度较差。经 $80\% \text{O}_2 + 20\% \text{N}_2$ 处理3 d后进行包装的双孢菇在低温下效果较好,但是常温下效果不好,说明 $80\% \text{O}_2 + 20\% \text{N}_2$ 处理后的双孢菇在包装后与低温结合才有很好的效果。该现象与广义的低温伤害较为相似:一些果蔬在一定的低温下长期放置不会发生品质或外观的劣变,但一旦从低温移入到常温或者温度较高的环境下,品质或外观就会产生急剧的劣变^[17]。

2.3 硬度

随着贮藏时间的延长,采后双孢菇硬度逐渐下降,由于果胶酶的催化作用,原果胶不断分解,在细胞渗透压的作用下,溶解于细胞液中,最终菌体硬度降低。另外,水分的损失,导致细胞膨压下降,使得细胞萎蔫变软^[18],细胞膜的通透性也会发生变化使双孢菇变软,逐渐失去硬度^[19],最终导致双孢菇失去商品价值。由图2可知,在 $(3 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 环境中,不同处理的双孢菇在0~4 d内硬度均快速下降,可能是双孢菇中的原果胶不断分解导致的。包装后双孢菇的硬度相对处理组没有明显优势,整体来看,除

$100\% \text{O}_2$ 3 d,处理3 d后进行包装的双孢菇在4~12 d内的硬度变化较小。

在 $(20 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 环境中,由图2c可以看出,在4~12 d内,其硬度出现上升后下降趋势,初期果实硬度上升可能原因是在该温度下木质素含量增加较快,所以硬度上升,余美丽^[20]研究显示,在 22°C 环境中,枇杷果实中与木质素合成相关的酶含量上升较快,木质素含量也迅速增加。后期硬度下降可能是 $(20 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 中双孢菇品质逐渐变坏,甚至出现自溶现象,在溶酶体酶的作用下,细胞被降解^[21]。 $100\% \text{O}_2$ 处理5 d后包装的双孢菇硬度较好。

2.4 失重率

在贮藏或销售过程中,失重率是衡量双孢菇商品价值的另一指标,由图3a、3b可看出, $80\% \text{O}_2 + 20\% \text{N}_2$ 、 $100\% \text{O}_2$ 处理及处理3 d、5 d后包装的双孢菇的失重率均低于冷藏处理及冷藏3 d、5 d后包装的双孢菇。有研究发现,高氧气调处理能够有效地降低双孢菇水分的损失^[22]。本试验得出,高氧气调的后续效应仍能够有效地降低失重率。在试验中,包装盒中相对湿度高达99%。有研究发现,在 4°C 贮藏环境中,空气相对湿度从76%升至96%,双孢菇的蒸腾速率降低了87%^[23]。

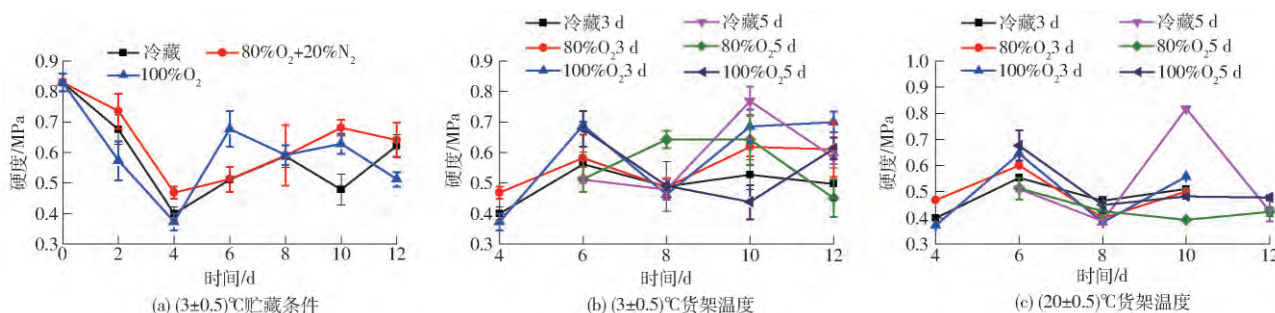


图2 不同处理对双孢菇硬度的影响

Fig. 2 Effect of different treatments on firmness of *Agaricus bisporus*

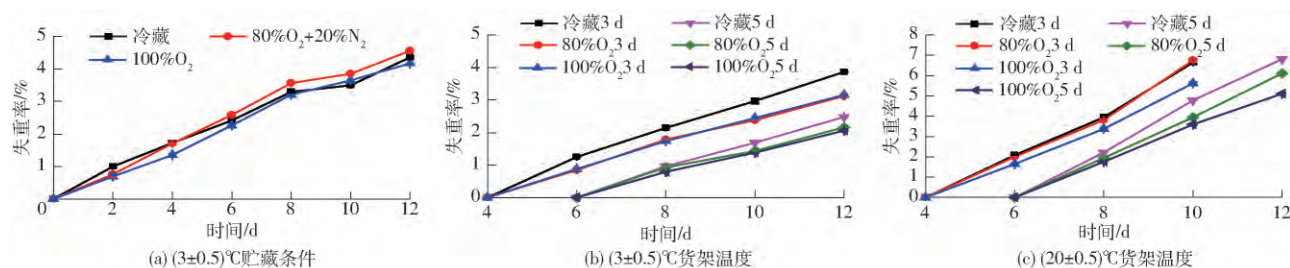


图3 不同处理对双孢菇失重率的影响

Fig. 3 Effect of different treatments on weight loss rate of *Agaricus bisporus*

由图3c可知,在 $(20 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 环境中, $100\% \text{O}_2$ 处理3 d、5 d后包装的双孢菇失重率较低。处理3 d后包装,冷藏3 d与 $80\% \text{O}_2$ 3 d效果相近;处理5 d后包装,二者差异显著($P < 0.05$),冷藏5 d后失重率高于 $80\% \text{O}_2$ 5 d。观察发现, $(20 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 环境中放

置约3 d表皮便会出现一定程度的发黏现象。 $(3 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 下该现象在初期不明显,这与许英超等^[10]试验结果一致。冷藏后包装的失重率高于 $80\% \text{O}_2$, $80\% \text{O}_2$ 处理的双孢菇包装后失重率高于 $100\% \text{O}_2$ 处理的双孢菇。

2.5 呼吸速率

由图 4a、4b 可看出,在 $(3 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 中,冷藏、 $100\% \text{O}_2$ 大约在第 6 天达到呼吸高峰, $80\% \text{O}_2 + 20\% \text{N}_2$ 处理的双孢菇在 $0 \sim 12 \text{ d}$ 呼吸强度逐渐增大,并在第 12 天达到最高值,冷藏 3 d、冷藏 5 d 达到呼吸高峰的时间相同,但是处理 5 d 后包装的双孢菇呼吸速率明显高于 3 d,与冷藏处理的呼吸速率差别不

大。在该环境下 $100\% \text{O}_2$ 、 $100\% \text{O}_2$ 3 d、 $100\% \text{O}_2$ 5 d 处理的双孢菇呼吸速率较低。其中 $100\% \text{O}_2$ 3 d 呼吸速率最低,其次是 $80\% \text{O}_2$ 、 $100\% \text{O}_2$ 试验组。总体而言,高氧气调处理的双孢菇呼吸速率明显低于对照组,高氧气调能够抑制呼吸速率,该结果与赵春霞等^[24]的试验规律相近。同时低温下高氧气调对抑制双孢菇呼吸速率有显著的后效效应。

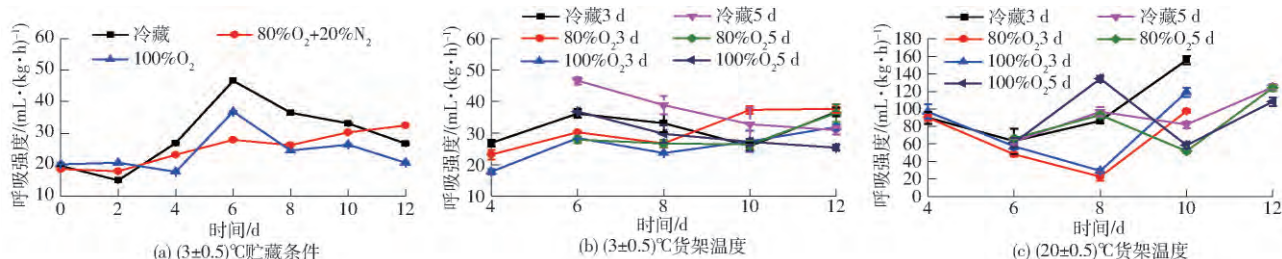


图 4 不同处理和不同包装时间对双孢菇呼吸强度的影响

Fig. 4 Effect of different treatments and packaging time on respiration rate of *Agaricus bisporus*

由图 4c 可看出,在 $(20 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 环境中,处理 3 d 后包装以及处理 5 d 后包装,各自 3 组变化趋势相近。处理 3 d 后包装, $80\% \text{O}_2$ 3 d、 $100\% \text{O}_2$ 3 d 的呼吸速率明显低于冷藏 3 d; 处理 5 d 后包装, $80\% \text{O}_2$ 5 d、 $100\% \text{O}_2$ 5 d 的呼吸速率明显低于冷藏 5 d。这说明在 $(20 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 环境中,高氧气调的后效效应仍能有效地抑制呼吸速率。

2.6 可溶性蛋白质

由图 5a、5b 可知,试验组、对照组与其处理 3 d、处理 5 d 后试验组的变化趋势相近。处理 3 d 发生代谢变化的时间早于处理组; 处理 5 d 发生代谢变化晚于处理组。这一特点与 $(3 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 双孢菇呼

吸速率的变化规律大致相同。李云云等^[25]研究表明,在贮藏过程中,双孢菇中蛋白质含量呈现下降趋势。张红艳等^[26]在关于脐橙的研究中发现在贮藏过程中可溶性蛋白质的含量呈增加趋势,这与刘战丽等^[6]在高氧气调包装过程中蛋白质含量的变化一致。

由图 5c 可知,在 $(20 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 冷藏 3 d、 $100\% \text{O}_2$ 3 d 处理的双孢菇可溶性蛋白质变化趋势基本相似。处理 5 d 的双孢菇蛋白质含量变化趋势差别较大,其中 $80\% \text{O}_2$ 5 d 处理的变化趋势与冷藏 3 d、 $100\% \text{O}_2$ 3 d 相似。 $(20 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 环境中,双孢菇中蛋白质含量大致呈上升趋势。

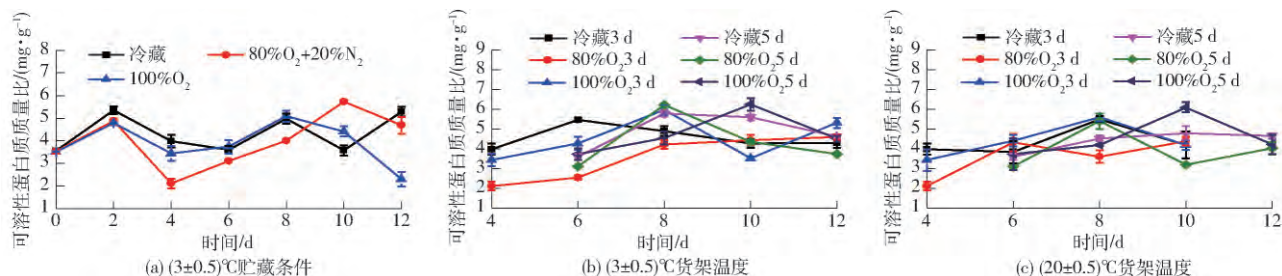


图 5 不同处理对双孢菇可溶性蛋白质含量的影响

Fig. 5 Effect of different treatments on soluble protein content of *Agaricus bisporus*

2.7 可溶性糖

可溶性糖是衡量双孢菇营养成分的指标之一,也是反映其采后衰老程度的重要指标之一^[25],在 $(3 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 环境中,3 个处理组可溶性糖含量均在 $0 \sim 2 \text{ d}$ 呈现上升趋势, $2 \sim 4 \text{ d}$ 呈现下降趋势(图 6a、2b)。双孢菇中的可溶性糖包含多种成分,主要有甘露醇、海藻糖、葡萄糖、甘露糖、果糖、蔗糖^[27]。在采后贮藏过程中,在双孢菇不同的部位,其含量是不同的,并且随着贮藏时间增加,含量呈

现不同变化趋势。研究发现,甘露醇是采后双孢菇主要的呼吸基质^[28]。其消耗具有滞后性,在 20°C 环境中,滞后时间约为 2 d ^[29]。DONKER 等^[30]研究指出甘露醇的浓度变化会影响双孢菇细胞渗透压的变化,所以可溶性总糖的变化是一个较为复杂的过程。

在 $(20 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 货架中可溶性糖的变化基本相似(图 6c),在第 10 天, $80\% \text{O}_2$ 5 d 含量低于冷藏 5 d、 $100\% \text{O}_2$ 5 d,差异性显著 ($P < 0.05$)。可溶性糖含量的变化与呼吸速率的大致变化趋势:呼吸速

率高则可溶性糖含量低,呼吸速率低则可溶性糖的含量高。

通过相关性分析大致看出,可溶性糖与呼吸速

率呈负相关,相关系数最高可达 $-0.873\ 14$,说明可溶性糖作为呼吸底物被逐渐消耗,呼吸速率越高,可溶性糖的含量越低。

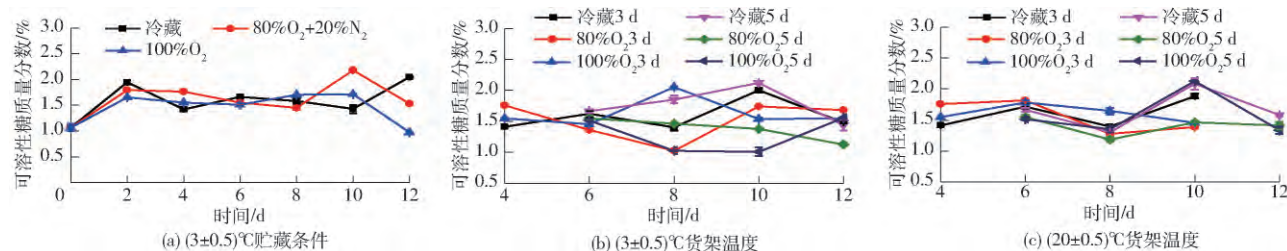


图6 不同处理对双孢菇可溶性糖含量的影响

Fig. 6 Effect of different treatments on soluble sugar content of *Agaricus bisporus*

3 讨论

双孢菇经高氧气调处理不同时间后,通过自发性气调薄膜包装放于模拟保鲜柜的温度环境中,在该温度下,双孢菇通过自发性气调的方式进行保鲜,试验结果显示比一直进行高氧气调的品质要好,也说明高氧气调的后续效应对双孢菇货架品质的保持具有较好效果,而且该方式能够有效地降低保鲜成本。从中获得启发,可以对2种气调方式的结合进行研究,优化双孢菇的货架期,既能够降低保鲜成本,又能够较好地保持双孢菇的货架品质。

调查发现,超市受保鲜柜数量、容量的限制,菌菇类多放于常温销售柜,因其温度接近室温,货架期明显缩短,对果蔬的货架品质也不利。本试验发现,双孢菇在常温销售柜中,自溶现象比较明显,因为随着温度的升高,双孢菇的自溶速率变大^[21]。后期由于蘑菇本身回到了菌丝态,双孢菇菌柄周围会出现白色菌丝^[31]。通过试验可知,该温度下,高氧气调的后续效应对双孢菇货架品质的保持相比对照组冷藏处理没有明显的优势,所以在该温度下销售的双孢菇,货架品质保持的重点在于双孢菇自溶现象的

研究,所以采取相应措施保证双孢菇在短时间内能够保持较好的品质具有重要的意义,在相关研究中,通过活性包装来延长双孢菇的保质期^[32],后期可进行相关研究。

4 结论

(1) $(3 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 环境中,高氧气调3 d、5 d后包装的双孢菇品质,要比一直进行高氧气调的双孢菇品质好,且处理3 d后包装比处理5 d后包装效果更好,并且80% O_2 处理3 d后包装的双孢菇品质较好,而且对于后期包装销售,可以有效降低保鲜的成本。对照组冷藏处理的双孢菇品质略差。所以在该温度下,高氧气调后对于保持双孢菇的货架品质仍有明显的后续效应。

(2) 在 $(20 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ (模拟双孢菇放在超市的常温销售环境),冷藏5 d后进行包装的效果最好,其次是100% O_2 5 d、冷藏3 d。100% O_2 处理的试验组与冷藏包装后较适合于在常温环境中销售,但是80% $\text{O}_2 + 20\% \text{N}_2$ 处理的双孢菇在包装后品质劣变明显,所以在该温度下,除呼吸作用外高氧气调对于保持双孢菇的货架品质没有明显的后续效应。

参 考 文 献

- HU Y H, CHEN C M, XU Lian, et al. Postharvest application of 4-methoxy cinnamic acid for extending the shelf life of mushroom (*Agaricus bisporus*) [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2015, 104(1): 33–34.
- 卞生珍, 杨清香. 双孢菇采后的生理生化变化 [J]. *新疆师范大学学报: 自然科学版*, 2007, 26(2): 80–83.
BIAN Shengzhen, YANG Qingxiang. The physiological and chemical change of harvested *Agaricus bisporus* [J]. *Journal of Xinjiang Normal University: Natural Sciences Edition*, 2007, 26(2): 80–83. (in Chinese)
- 孟德梅, 申琳, 陆军, 等. 双孢菇采后感官品质变化的因素分析与保鲜技术研究进展 [J]. *食品科学*, 2010, 31(15): 283–287.
MENG Demei, SHEN Lin, LU Jun, et al. Research progress in analysis of factors affecting sensory quality and preservation techniques for post-harvested *Agaricus bisporus* [J]. *Food Science*, 2010, 31(15): 283–287. (in Chinese)
- BURTON K S, NOBLE R. The influence of flush number, bruising and storage temperature on mushroom quality [J]. *Postharvest Biology & Technology*, 1993, 3(1): 39–47.
- 刘战丽, 王相友. 双孢蘑菇采后生理生化及保鲜技术研究进展 [J]. *食品研究与开发*, 2011, 32(11): 183–186.
LIU Zhanli, WANG Xiangyou. Advances in post-harvest physiology and fresh-keeping techniques of mushroom (*Agaricus bisporus*) [J]. *Food Research and Development*, 2011, 32(11): 183–186. (in Chinese)
- 刘战丽, 王相友, 朱继英, 等. 高氧气调贮藏下双孢蘑菇品质和抗性物质变化 [J]. *农业工程学报*, 2010, 26(5): 362–366.
LIU Zhanli, WANG Xiangyou, ZHU Jiying, et al. Effects of relative humidity on postharvest physiology of *Agaricus bisporus* [J]. *Transactions of the CSAE*, 2010, 26(5): 362–366. (in Chinese)

- 7 石启龙,王相友,王娟. 不同贮藏温度对双孢蘑菇生理特性的影响[J]. 食品工业科技, 2005, 26(3): 165-166.
- 8 朱继英,王相友,王娟. 双孢蘑菇采后生理变化与组织褐变的关系[C]//中国农业机械学会2008年学术年会论文集, 2008: 337-340.
- 9 王娟,王相友,李霞. 低温气调贮藏下氧气含量对双孢蘑菇品质的影响[J]. 农业机械学报, 2010, 41(4): 110-113.
WANG Juan, WANG Xiangyou, LI Xia. Effects of oxygen concentration on storage quality of *Agaricus bisporus* under low temperature and controlled atmosphere storage[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(4): 110-113. (in Chinese)
- 10 许英超,朱继英,王相友. 相对湿度对双孢菇采后生理的影响[J]. 保鲜与加工, 2006, 6(1): 13-15.
XU Yingchao, ZHU Jiying, WANG Xiangyou. Effects of high oxygen atmosphere on quality and resistant substance of mushroom [J]. Storage and Process, 2006, 6(1): 13-15. (in Chinese)
- 11 BRADFORD M M. Rapid and sensitive method for quantitation of microgram quantities of protein utilizing principle of protein dye binding[J]. Analytical Biochemistry, 1976, 72(1-2): 248-254.
- 12 BRAAKSMA A, SCHAAP D J. Protein analysis of the common mushroom *Agaricus bisporus* [J]. Postharvest Biology and Technology, 1996, 7(1-2): 119-127.
- 13 史琦云,邵威平. 八种食用菌营养成分的测定与分析[J]. 甘肃农业大学学报, 2003, 38(3): 336-339.
SHI Qiyun, SHAO Weiping. Determination of nutritive components of eight edible fungi [J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2003, 38(3): 336-339. (in Chinese)
- 14 王步江. 包装方式对双孢菇货架期品质和生理的影响[J]. 食品科技, 2012(8): 57-61.
WANG Bujiang. Effect of package types on *Agaricus bisporus* during shelf-life [J]. Food Science and Technology, 2012(8): 57-61. (in Chinese)
- 15 GORMLEY R. Chill storage of mushrooms [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1975, 26(4): 401-411.
- 16 张晓聪. 白色双孢蘑菇褐变机理及控制技术[D]. 福州: 福建农林大学, 2010.
ZHANG Xiacong. Study on the browning mechanism and control of mushrooms (*Agaricus bisporus*) [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2010. (in Chinese)
- 17 张俊巧. 果蔬低温保鲜低温伤害综述[J]. 广西园艺, 2007, 18(5): 71-73.
- 18 陶菲. 真空预冷处理延长白蘑菇贮藏期的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2006.
TAO Fei. Extending the shelf-life of mushroom by vacuum cooling [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2006. (in Chinese)
- 19 BRAAKSMA A, SCHAAP D J, VRIJJE T D, et al. Ageing of the mushroom (*Agaricus bisporus*) under post-harvest conditions [J]. Postharvest Biology & Technology, 1994, 4(1-2): 99-110.
- 20 余美丽. 枇杷果实采后品质变化及硬度预测模型研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2010.
YU Meili. Study on quality changes and firmness prediction model of loquat fruit after harvest [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2010. (in Chinese)
- 21 陈素芹. 白色双孢蘑菇自溶机制及诱因研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2010.
CHEN Suqin. Study on autolysis mechanism and inducement of *Agaricus bisporus* [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2010. (in Chinese)
- 22 CLIFFE-BYRNES V, OBEIRNE D. Process-modified atmosphere and humidity parameters for high-quality sliced mushrooms (*Agaricus bisporus* L.) [J]. Journal of Food Quality, 2010, 33(3): 286-302.
- 23 MAHAJAN P V, OLIVEIRA F A R, MACEDO I. Effect of temperature and humidity on the transpiration rate of the whole mushrooms [J]. Journal of Food Engineering, 2008, 84(2): 281-288.
- 24 赵春霞,李大虎,程玉娇. 等. 高氧气调包装对双孢蘑菇品质的影响[J]. 包装工程, 2014(15): 5-10.
ZHAO Chunxia, LI Dahu, CHENG Yujiao, et al. Effects of modified atmosphere packaging with O₂ on the qualities of *Agaricus bisporus* [J]. Packaging Engineering, 2014(15): 5-10. (in Chinese)
- 25 李云云,赵春霞,程曦. 等. 高氧气调包装对双孢蘑菇微生物及其品质的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(2): 261-265.
LI Yunyun, ZHAO Chunxia, CHENG Xi, et al. Effects of high-oxygen modified atmosphere packaging on microorganisms and quality maintenance in *Agaricus bisporus* [J]. Food Science, 2016, 37(2): 261-265. (in Chinese)
- 26 张红艳,鲍江峰,彭抒昂. 脐橙果实贮藏过程中主要有机物质含量的变化[J]. 亚热带植物科学, 2003, 32(4): 1-3.
ZHANG Hongyan, BAO Jiangfeng, PENG Shuang. Changes of main organic material contents in navel orange fruits during storage [J]. Subtropical Plant Science, 2003, 32(4): 1-3. (in Chinese)
- 27 WANNET W J, HERMANS J H, VAN D D C, et al. HPLC detection of soluble carbohydrates involved in mannitol and trehalose metabolism in the edible mushroom *Agaricus bisporus* [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2000, 48(2): 287-291.
- 28 HAMMOND J B W, NICHOLS R. Changes in respiration and soluble carbohydrates during the post-harvest storage of mushrooms (*Agaricus bisporus*) [J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 1975, 26(6): 835-842.
- 29 VAROQUAUX P, GOUBLE B, BARRON C, et al. Respiratory parameters and sugar catabolism of mushroom (*Agaricus bisporus* Lange) [J]. Postharvest Biology & Technology, 1999, 16(1): 51-61.
- 30 DONKER H C W, AS H V. Cell water balance of white button mushrooms (*Agaricus bisporus*) during its post-harvest lifetime studied by quantitative magnetic resonance imaging [J]. Biochimica et Biophysica Acta, 1999, 1427(2): 287-297.
- 31 EASTWOOD D, BURTON K. Mushrooms—a matter of choice and spoiling oneself [J]. Microbiology Today, 2002: 18-23.
- 32 WRONA M, BENTAYE K, NERIN C. A novel active packaging for extending the shelf-life of fresh mushrooms (*Agaricus bisporus*) [J]. Food Control, 2015, 54: 200-207.