

双孢菇保鲜及抗褐变处理研究现状

徐冬颖 姜爱丽* 胡文忠 杨柳 陈晨

(大连民族大学 生命科学学院 辽宁 大连 116600)

摘 要 随着双孢菇市场需求的不断扩大,双孢菇保鲜及抑制褐变的方法已成为研究的热点,国内外对双孢菇的褐变机理及抑制褐变的方法也进行了大量报道。该文对双孢菇采后的生理生化变化、褐变机理、抑制褐变的方法及贮藏保鲜的措施等进行了综述,并对双孢菇未来的保鲜技术及发展进行了展望。

关键词 双孢菇;多酚氧化酶;抗褐变;贮藏保鲜

双孢菇(*Agaricus bisporus*)又称白蘑菇、洋蘑菇,在欧美各国常被称之为普通栽培蘑菇或纽扣蘑菇,它是世界上培育面积最大、产量最多、销售最为广泛的一种蘑菇。双孢菇色泽洁白、质地柔嫩、味道鲜美、营养价值十分丰富,菇体内含有丰富的蛋白质、氨基酸、维生素及矿物质,具有清热解毒、消炎润肺、健脑明目、降低胆固醇、防止动脉血管硬化等多种保健功能,消费市场需求量大,发展前景广阔,是我国近年来出口量最大的食用菌之一。

由于双孢菇的水分含量高,组织极其细嫩,菌盖无明显的保护结构,采后呼吸代谢旺盛,表皮容易擦伤,因此容易发生失水萎蔫、褐变、破膜、开伞、腐烂、变质等现象。且双孢菇本身含有较多的酚类物质,贮藏期间容易在多酚氧化酶(PPO)的作用下发生酶促褐变,严重影响双孢菇的感官品质,为其贮运保鲜带来很大难度,制约了市场的开拓,因此采用合理的方法来抑制其褐变的发生是双孢菇产业发展的重要环节,对我国农业发展及经济增长具有重要意义。

1 双孢菇采后的生理生化变化

双孢菇采后的生命活动是在呼吸作用和蒸腾作用等基本代谢的基础上所表现出的成熟与衰老的生理变化过程^[1]。为了抑制双孢菇的褐变程度、延长其贮藏期,需要对双孢菇采后的生理生化变化进行了解与研究。

第一作者:本科生(姜爱丽副教授为通讯作者,E-mail: jal@dlmu.edu.cn)。

基金项目:国家国际科技合作项目(2013DFA31450);国家自然科学基金项目(31471923);大连民族大学人才引进科研项目(0701-110004)

收稿日期:2015-11-02,改回日期:2015-11-22

1.1 呼吸作用

呼吸作用是双孢菇采后最重要的生命活动。呼吸作用对双孢菇褐变的发生有较大影响,也是影响其货架期的重要因素。双孢菇为高呼吸强度的食用菌,属呼吸跃变型园艺产品,以有氧呼吸为主^[2]。由于双孢菇采后离开了培养基,从而失去了水分及营养物质的供给,同化作用基本停止,但子实体仍进行着生命活动,因此,呼吸作用成为其新陈代谢的主导过程^[3]。双孢菇在呼吸高峰内会发生开伞、褐变及自溶等后熟现象,逐渐衰老,直到细胞崩溃死亡^[4]。HAMMOND等^[5]研究表明,采后的双孢菇在贮藏过程中开伞时会伴有呼吸高峰的出现,两者被认为是一个耗能过程。

要想延长双孢菇的货架期应抑制其呼吸作用、降低呼吸强度。双孢菇的呼吸强度受贮藏温度、湿度、O₂和CO₂浓度等因素的影响。王娟等^[6]研究了双孢菇在温度为2℃和20℃的贮藏条件下,不同薄膜包装中O₂及CO₂体积分数在蘑菇呼吸过程中及薄膜渗透作用下的动态变化。结果表明,低温和气调条件能有效抑制双孢菇的呼吸作用,且随着CO₂体积分数的增加,呼吸速率逐渐减小,最大呼吸速率随着温度的增加而增加。

1.2 蒸腾作用

刚采收的双孢菇含水量很高,但随着贮藏时间的延长,水分很容易散失,从而造成双孢菇失重、萎蔫、变质。且贮藏过程中,由于不能及时补充双孢菇蒸腾作用所失去的水分,从而严重影响了机体正常的生理功能,如增强了呼吸强度、提高了菇体内部PPO等酶的活性及缩短了双孢菇的货架期等。因此降低双孢菇的蒸腾作用、严格控制影响蒸腾作用的外界条件对抑制双孢菇褐变及延长货架期有很大影响。可通过

降低温度、增大湿度来减少双孢菇的蒸腾作用。许英超等^[7]认为贮藏期间的蒸腾作用是单向的,不能及时补充散失的水分而导致细胞膨压下降,从而使鲜度下降。他们通过在温度为3℃、相对湿度分别为70%、80%、90%、100%条件下,比较双孢菇采后贮藏期间其感观、失重率、褐变、呼吸强度以及PPO活性的变化发现:双孢菇的失重率随贮藏环境内相对湿度的增加而减少,褐变程度及PPO活性降低,且双孢菇采后贮藏最适宜的相对湿度为93%~100%。

1.3 营养物质的代谢

双孢菇在贮藏过程中,子实体内的碳水化合物、蛋白质、脂肪酸等营养物质不断地进行代谢转化,氮及糖的代谢是导致其褐变和腐烂变质的原因^[1]。碳水化合物的含量随双孢菇贮藏时间的延长而逐渐降低。双孢菇采后贮藏过程中,蛋白质逐渐分解成氨基酸,以酰胺的形式进行氮的转移。因此,双孢菇中蛋白质的降解情况与其采后褐变的发生密不可分。双孢菇体内的脂类以不饱和脂肪酸为主,且含量很低,脂类为细胞膜的重要成分,由于不饱和脂肪酸的稳定性较差,细胞的结构容易被破坏,从而加快双孢菇的褐变速度。降低温度、降低O₂浓度或提高CO₂浓度可有效降低营养物质的代谢速率,延缓褐变的发生,延长双孢菇的货架期。

1.4 酪氨酸酶活性的变化

酪氨酸酶又称单酚氧化酶,是PPO的一种。酪氨酸酶为蘑菇菌丝无性生长期所特有的一种酶,子实体开始形成时酪氨酸酶开始下降,因此酪氨酸酶刚形成时含量很微弱^[8]。正常发育过程中,细胞膜隔层将酪氨酸酶及其作用的底物所分开,但由于菇体损伤或自然老化,细胞膜透性受到损害,酶与底物(O₂与酚)发生接触或活化,从而引起双孢菇发生褐变,影响感官品质^[9]。研究酪氨酸酶的酶学特性对双孢菇的贮运保鲜有十分重要的作用。马庆一等^[10]从双孢菇中提取酪氨酸酶研究发现:双孢菇中酪氨酸酶的最适pH值为6.5,最适反应温度为30℃。因此可通过降低贮藏环境中温度及pH值的方法来抑制双孢菇的褐变。

2 双孢菇的褐变机理

采后的双孢菇仍进行着生命活动,在多种酶的作用下,不断消耗体内的营养物质。MARTINEZ等^[11]认为褐变通常会因产品颜色、味道及质地的变化而破坏其感官特性。随着贮藏时间的延长,双孢菇逐渐出

现失水、变软、萎缩、开伞、褐变、腐烂变质等现象,使商品品质大幅下降,同时也降低了商品价值。酶促褐变是双孢菇发生褐变最重要的因素。

双孢菇酶促褐变机理的报道很多,JOLIVET等^[12]认为,不同的2种酚类氧化机制导致双孢菇发生褐变,一是激活酪氨酸酶活性,二是自发氧化作用。双孢菇中的酪氨酸酶是含铜金属酶类,可通过催化儿茶酚、绿原酸等酚类物质氧化成醌。当菇体受到伤害或遇到不良环境时,酪氨酸酶可将酚类物质催化氧化为醌类化合物,醌类化合物进一步聚合形成黑色素,导致菇体褐变。采后的双孢菇因PPO活性的提高及总酚含量的增加而使褐变程度不断加深。此外,双孢菇细胞膜透性的增加也加速褐变的发生。

实际上,在非酶促条件下,O₂也能将儿茶酚及愈创木酚缓慢氧化成有色物质^[1]。国外研究认为,双孢菇褐变可分为生理褐变与病理褐变,前者主要指酶促褐变,而病理褐变主要是由假单胞菌引起的^[13]。

3 抑制双孢菇褐变的方法

抑制酶促褐变可通过减少酚类物质的含量、控制PPO的活性、降低O₂浓度3个方面进行^[14]。可从物理控制、化学控制和生物技术控制3个方面来抑制双孢菇的褐变。

3.1 物理方法

严格控制贮藏温度及氧含量可有效减少双孢菇的褐变程度。因此,可通过低温、气调、辐射、涂膜等物理贮藏方法来抑制双孢菇褐变的发生,从而延长货架期。

3.1.1 合理采收

采收期是影响双孢菇采后耐贮性能及褐变程度的重要因素。李成华等^[15]以菌盖直径分别为30~40 mm、40~50 mm、50~60 mm的3种不同采收期的双孢菇为实验材料进行研究。结果表明,直径为50~60 mm的双孢菇在采后贮藏过程中,菇体的失重率较低,硬度较高,白度保持较好,呼吸强度较低,开伞率也较低,表现了很好的耐贮性。此外,BRAAKSMA等^[16]对不同采收时间的双孢菇采后品质的研究发现,越早采收的双孢菇,在温度为20℃、相对湿度大于90%的贮藏条件下,其开伞率越小;且双孢菇采收时的直径与采后贮藏期内开伞程度密切相关,直径为15~20 mm的双孢菇在贮藏过程中不会出现开伞现象。因此,合理掌握采收双孢菇的时间和方法可以抑制褐变的发生。

3.1.2 低温贮藏

低温贮藏是抑制食用菌褐变、变质及腐败常用而有效的方法。低温贮藏可有效地减缓组织细胞新陈代谢的速率,抑制菌盖开伞及微生物的生长繁殖,控制酶促反应的发生,从而延缓褐变的发生,延长双孢菇的保鲜期。

贮藏温度对双孢菇的生理生化特性有一定的影响。石启龙等^[2]以双孢蘑菇为实验材料,分别测定其在温度为 $(3 \pm 1)^\circ\text{C}$ 、 $(10 \pm 1)^\circ\text{C}$ 、 $(17 \pm 1)^\circ\text{C}$ 及室温(30°C)条件下贮藏过程中的失重率、呼吸强度、PPO活力和总糖等生理指标。结果表明,温度为 $(3 \pm 1)^\circ\text{C}$ 时可明显降低双孢菇的失重率,延缓其呼吸跃变出现的时间及可溶性总糖损失的速度,此外还能使其呼吸峰值及PPO的活力降低。

不同贮藏温度对双孢菇保鲜效果不同。AGUIRRE等^[17]研究了在3种温度(5°C 、 10°C 、 15°C)和3种相对湿度(70%、80%、90%)的条件下,双孢菇贮藏期间品质变化,研究表明:低温及高湿的贮藏环境是防止双孢菇品质下降的最佳贮存条件。而KABLAN等^[18]将双孢菇贮藏温度为 4°C 的条件下,第二天将贮藏温度升至 14°C ,放置2 d后再降回 4°C 放置1 d,在12 d贮藏期间内如此重复3次,发现温度的波动可明显加快双孢菇品质的下降。由此可见,可通过低温贮藏的方法来抑制菇色发黄及菇体的褐变。

3.1.3 气调贮藏

气调贮藏保鲜是通过调节贮藏环境中 O_2 和 CO_2 的比例,来延长果蔬贮存期的一种贮藏方式。LOPEZ-BRIONES等^[19]对蘑菇气调环境的研究发现,与降低 O_2 浓度相比,升高环境中 CO_2 的浓度可更有效地抑制菇体开伞及颜色变化。WARD等^[20]研究结果也表明,高浓度 CO_2 可以抑制双孢菇的开伞、褐变及腐败。王娟等^[21]研究了在温度为 3°C 、相对湿度为95%的贮藏条件下,环境中的 O_2 含量对采后的双孢菇贮藏品质的影响。结果表明, O_2 含量的体积分数为5%时可有效抑制双孢菇的呼吸强度,延迟呼吸高峰的出现,且双孢菇的失重率及褐变程度随贮藏环境中氧含量的减少而降低。据日本专利(共特招57-16645)报道^[22],可使用 O_2 透过量为 $1\,000\text{ mL}/(\text{m}^2 \cdot 24\text{ h})$ 的塑料薄膜为包装材料,用 N_2 进行置换,或使用脱氧剂来降低包装袋中的 O_2 浓度来控制食用菌的呼吸作用,可有效控制食用菌菌盖开伞、褐变及气生菌丝的发生,从而达到较好的保鲜效果。

国外主要是通过向气调贮藏环境中充入 N_2 来降

低氧含量,从而达到保鲜效果,但由于设备成本太高,很难在我国大范围的应用。我国主要采用自发气调贮藏方法,利用食用菌自身的呼吸作用,使袋内 O_2 浓度降低, CO_2 浓度升高,不仅节约成本,方便操作,且贮藏保鲜效果较好。

3.1.4 辐照保鲜

辐照保鲜是通过强穿透力射线对双孢菇进行照射,杀死菇体内的有害微生物,使体内的酶钝化,从而抑制其褐变的发生。DUAN等^[23]发现,用1~4 kGy剂量电子束照射的双孢菇,存放10 d后,其PPO活性显著低于对照组。使用的辐射剂量不同,对双孢菇的抑制效果不同,张娟琴等^[24]以1.0、2.0、3.0和4.0 kGy剂量的电子束辐照双孢菇, 4°C 下贮藏保鲜,研究结果表明:辐照对双孢菇中水溶性糖、氨基酸、 V_{B_1} 、 V_{B_2} 、烟酸含量无显著影响, V_c 对辐照比较敏感,当剂量为4.0 kGy时,其含量较对照组显著降低了31.1%。2.0 kGy辐照处理可有效延长双孢菇的保藏时间,并且对营养成分无明显影响。此外,LESCANO^[25]通过在室温下用3 kGy剂量的 γ -辐射对双孢菇进行处理来研究 γ -辐射对双孢菇寿命的影响,结果表明经辐射处理后,蘑菇的货架期约是对照组的3倍。可见,辐射处理技术的应用可有效的抑制双孢菇的褐变,延长其贮藏期。

辐射保鲜法的安全性一直是人们最为关注和重视的问题,由FAO、WHO和IAFA 3个权威机构组成的联合专家委员会,根据长期以来毒理学、营养学、辐射化学以及微生物资料,认为辐射总平均剂量不超过10 kGy的食品是安全的,不存在毒理学危害^[26]。

3.1.5 涂膜保鲜

涂膜保鲜可使双孢菇与外界环境隔绝,同时使菇体内的酶不再与 O_2 相接触,从而减少褐变的发生。涂膜保鲜技术对双孢菇贮藏期间的生理变化有一定影响。王相友等^[27]研究了在 $(2 \pm 1)^\circ\text{C}$ 的贮藏条件下,卡拉胶、羧甲基纤维素钠及其复配涂膜对双孢菇生理及品质的影响,实验结果表明:经羧甲基纤维素钠涂膜后的双孢菇对失重率的抑制效果最好,经卡拉胶涂膜后的双孢菇可有效的抑制呼吸速率及PPO活性,并能很好地保持果实硬度和白度,且可以使双孢菇的货架寿命延长到12 d以上。

使用不同的化学试剂涂膜,对双孢菇褐变的抑制效果不同。李成华等^[28]以双孢菇为实验材料,分别采用实验室自制壳聚糖季铵盐、羧甲基壳聚糖、N-取代羧甲基壳聚糖为成膜主剂对双孢菇进行涂膜处理,

结果表明:涂膜效果最佳的是 N-取代羧甲基壳聚糖,使用该试剂涂膜后的双孢菇可以很好的保持菇体硬度,有效降低呼吸强度及失重率,抑制酶的活性及开伞率,且贮藏期间可更好地保持双孢菇的白度。而谢雯君等^[29]使用海藻酸钠、琼脂和魔芋涂膜液等对双孢菇进行涂膜及优化实验。结果表明,双孢菇在 0~3℃ 的最适温度下,使用涂膜法可减缓褐变发生,贮藏保鲜效果好,且同样条件下,经海藻酸钠涂膜后的双孢菇保鲜效果最佳。

此外,常用的其他物理方法还有微波真空干燥、减压贮藏、臭氧保鲜、真空预冷、速冻保鲜、超滤、电厂处理等等,主要也是通过改变双孢菇的贮藏环境,来最大限度的保持其原有风味,延长货架期。

3.2 化学方法

对于褐变的抑制最为方便、人们研究最多的还是使用各种褐变抑制剂的化学方法。目前经常研究使用的保鲜剂有苯甲酸、 ClO_2 、NaCl、柠檬酸、抗坏血酸、半胱氨酸、异抗坏血酸钠、苹果酸等,且不同保鲜剂的使用方法及保鲜效果也有很多报道。

保鲜剂可以抑制菇体内酶的活性,且不同的保鲜剂对褐变的抑制程度不同。颜敏华等^[30]研究发现,经 ClO_2 (50~200 mg/L)、NaClO (20~50 mL/L) 及 H_2O_2 (3%~5%) 处理后的双孢菇,在贮藏 20 d 后的褐变指数分别为 0.269、0.4 和 0.469,分别较对照低 73.1%、60% 和 53.1%,其开伞率分别为 20%、35% 和 35%,分别较对照低 80%、65% 和 65%。

不同浓度配比的相同保鲜剂所达到的保鲜效果也各不相同。杨慧等^[31]研究了不同抑制剂对双孢菇褐变的影响,其单因素研究结果表明,只有选择最适浓度的保鲜剂才能达到最佳抑制效果,且苹果酸、甜菜碱、谷氨酸、L-半胱氨酸浓度分别为 400、300、700 和 900 mg/L 时,抑制双孢菇褐变的效果最好,抑制率分别为 57.24%、51.48%、50.1%、31.2%。

复合保鲜剂的使用比单一保鲜剂抑制褐变的效果更好。段颖等^[32]采用 L-半胱氨酸等作为护色剂,对蘑菇保鲜进行研究。试验表明,使用浓度为 2.5 mg/mL 的 L-半胱氨酸、9.0 mg/mL 的柠檬酸、1.5 mg/mL 的植酸及 0.5 mg/mL 的 EDTA-2Na 的复合保鲜剂的蘑菇在温度为 (5±1)℃ 下可贮藏 12 d,其效果比单一保鲜剂和对照要好,且在贮藏期内菌盖不开伞,色泽洁白,菇体的褐变程度、电导率及呼吸强度等指标比 L-半胱氨酸和对照组要低,鲜度指数则高于 L-半胱氨酸和对照。

此外,还有许多学者也针对化学保鲜剂对双孢菇褐变的抑制作用及其保鲜效果进行了研究,如王相友等^[33]研究得出,在贮藏期间,效果最佳的双孢菇褐变抑制剂及其配比为:12 mmol/L 半胱氨酸、0.05% 抗坏血酸、0.15% 无水亚硫酸钠,浸泡时间为 8 min。虽然大家所研究的褐变抑制剂及配比各不相同,但都可以很好地抑制双孢菇的褐变程度,延长它的货架期。

3.3 生物技术

随着生活水平的提高,人们越来越注重食品的品质与安全,因此在抑制双孢菇褐变的研究上,天然保鲜剂的使用会越来越有前景。李静等^[34]采用烫漂前浸泡和烫漂时添加 2 种方式,研究了木瓜和玉米须提取物对双孢菇片烫漂后颜色和品质的影响,结果表明 2 种植物提取物的不同添加方式均可以抑制菇片的褐变并保持菇片的品质,其中浸泡前处理效果较好。LOZANO-DE-GONZALEZ 等^[35]研究表明,菠萝汁对抑制苹果切片褐变的效果显著。此外,EMILIA BERNAS 等^[36]研究了洋葱提取液对双孢菇 8 个月冻藏(-25℃)期间的酶促褐变的抑制作用,结果表明,洋葱提取液对蘑菇酶促褐变的抑制作用比有机酸溶液更有效,且洋葱提取液可导致 PPO 的活性降低,使蘑菇的风味更好。以上这些研究都为今后探寻抑制双孢菇褐变的天然提取剂提供了参考。

随着科技的不断发展,人们逐渐利用基因工程技术来研发抗褐变的新品种。BACHEM 等^[37]通过农杆菌介导,向马铃薯的染色体组内分别反向插入 PPO 和 cDNA 片段,成功得到了抗褐变的马铃薯新品系。这一研究成果对双孢菇抗褐变品种的研发有一定的参考价值。

4 展望

双孢菇作为一种高产量、高营养的食用菌,在内销和出口方面有着重要的地位。然而双孢菇采后在常温条件下极易发生褐变,严重影响其食用价值和商品价值。如今,随着对双孢菇的关注度越来越高,人们对其褐变的机理有了更多的了解,同时也在积极探寻着抑制双孢菇褐变,延长货架期的方法。经过人们在物理、化学、生物技术等方面的深入研究,获得了许多抑制双孢菇发生褐变的有效方法。但有些方法可能还存在一些安全问题。因此,应严格控制双孢菇品种的选育及栽培管理措施,采用合理采收及贮藏方法,加强果实贮藏期间综合代谢环节的研究,从而减缓褐变的发生。此外,随着科学技术的不断发展,应

运用高新技术来更有效的抑制双孢菇褐变的发生,提高食用菌的贮藏保鲜和加工技术水平,从而为人们提供更加新鲜、安全、高质量的食用菌。

参 考 文 献

- [1] 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,2007,26(2): 32-35.
- [2] 石启龙,王相友,王娟,等. 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.
- [3] 谢雯君,王则金. 蘑菇采后生理及保鲜技术研究进展[J]. 食品与机械,2005,21(3): 69-71.
- [4] 冯叙桥,赵静. 蘑菇贮藏保鲜原理与技术[J]. 中国食用菌,1995,14(3): 43-44.
- [5] 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 and Agriculture, 1975, 26(6): 835-842.
- [6] 王娟,王相友,李霞. 气调包装下双孢蘑菇呼吸特性[J]. 农业机械学报,2009,40(10): 102-105,70.
- [7] 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,2006,32(1): 13-15.
- [8] 顾雅君,王瑛,刘建荣. 与食用菌相关主要酶的研究和应用[J]. 中国食用菌,2006,25(1): 41-42.
- [9] 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(15): 283-287.
- [10] 马庆一,宋彦显,王瑞,等. 双孢菇酪氨酸酶测活方法的改进及其抑制剂的筛选[J]. 食品科技,2007,32(5): 237-241.
- [11] MARTINEZ M V, WHITAKER J R. The biochemistry and control of enzymatic browning [J]. Trends in Food Science and Technology, 1995, 6(6): 195-200.
- [12] JOLIVET S, ARPIN N, WICHES H J, Pellon G. *Agaricus bisporus* browning: a review [J]. Mycological Research, 1998, 102(12): 1459-1483.
- [13] GONZALEZ-FANDOS E, GIMENES M, OLARTE C, et al. Effect of packaging conditions on the growth of microorganisms and the quality characteristics of fresh mushrooms (*Agaricus bisporus*) stored at inadequate temperatures [J]. Journal of Applied Microbiology, 2000, 89(4): 624-632.
- [14] DODDAPANENI H, SUBRAMANIAN V, FU B, et al. A comparative genomic analysis of the oxidative enzymes potentially involved in lignin degradation by *Agaricus bisporus* [J]. Fungal Genetics and Biology, 2013, 55(6): 22-31.
- [15] 李成华,张水丹,刘吟,等. 采收期对双孢蘑菇采后耐贮性品质影响研究[J]. 中国食用菌,2009,28(5): 46-49.
- [16] BRAAKSMA A, SCHAAP D J, SCHIPPER C M A. Time of harvest determines the postharvest quality of the common mushroom *Agaricus bisporus* [J]. Postharvest Biology and Technology, 1999, 16(2): 195-198.
- [17] AGUIRRE L, FRIAS J M, BARRY-RYAN C, et al. Assessing the effect of product variability on the management of the quality of mushrooms (*Agaricus bisporus*) [J]. Postharvest Biology and Technology, 2008, 49(2): 247-254.
- [18] KABLAN T, MATHIAS K O, GILLES D, et al. Comparative evaluation of the effect of storage temperature fluctuation on modified atmosphere packages of selected fruit and vegetables [J]. Postharvest Biology and Technology, 2007, 46(3): 212-221.
- [19] LOPEZ-BRIONES G, VAROQUAUX P, CHAMBROY Y, et al. Storage of common mushroom under controlled atmospheres [J]. International Journal of Food Science Technology, 1992, 27(5): 493-505.
- [20] WARD T, TURNER E M, OSBORNE D J. Evidence for the production of ethylene by the mycelium of *Agaricus bisporus* and its relationship to sporocarp development [J]. Journal of General Microbiology, 1978, 104(1): 23-30.
- [21] 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): 110-113,123.
- [22] 陈景荣. 鲜食用菌保鲜技术近况[J]. 检验检疫科学, 1999, 9(3): 30-32.
- [23] DUAN Z, XING Z, SHAO Y, et al. Effect of electron beam irradiation on postharvest quality and selected enzyme activities of the white button mushroom, *Agaricus bisporus* [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2010, 58(17): 9617-9621.
- [24] 张娟琴,邢增涛,白冰,等. 电子束辐照对双孢菇采后品质的影响[J]. 核农学报,2011,25(1): 88-92.
- [25] LESCANO G. Extension of mushroom (*Agaricus bisporus*) shelf life by gamma radiation [J]. Postharvest Biology and Technology, 1994, 4(3): 255-260.
- [26] 徐丽婧,高丽朴,王清,等. 辐照保鲜技术及其在双孢蘑菇保鲜中的应用[J]. 食品工业科技,2014,35(9): 392-395.
- [27] 王相友,闫聪聪,刘战丽. 可食性涂膜对双孢蘑菇生理和品质的影响[J]. 农业机械学报,2012,43(1): 141-145.

- [28] 李成华,张永丹,刘吟,等. 3 种壳聚糖衍生物涂膜保鲜双孢蘑菇的研究[J]. 中国食用菌,2009,28(4): 54-57.
- [29] 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.
- [30] 顾敏华,李梅,吴小华,等. 双孢蘑菇保鲜剂及贮运保鲜技术研究[J]. 中国食用菌,2010,29(3): 46-47,59.
- [31] 杨慧,王赵改,李静,等. 不同抑制剂控制双孢蘑菇褐变的研究[J]. 农产品加工: 学刊,2013,09: 7-11.
- [32] 段颖,耿胜荣,韩永斌,等. 蘑菇保鲜剂的筛选及其保鲜效果[J]. 食品与发酵工业,2004,30(5): 143-146.
- [33] 王相友,石启龙,王娟,等. 双孢蘑菇护色保鲜技术研究[J]. 农业工程学报,2004,20(6): 205-208.
- [34] 李静,王安建,刘丽娜,等. 木瓜和玉米须提取物对双孢菇片烫漂后颜色和品质的影响[J]. 食品工业科技,2013,31(1): 330-333.
- [35] LOZANO-DE-GONZALEZ P G, BARRETT D M, WROLSTAD R E, et al. Enzymatic browning inhibited in fresh and dried apple rings by pineapple juice[J]. Journal of Food Science, 1993, 58(2): 399-404.
- [36] EMILIA B, GRAZYNA J. Use of onion extract to prevent enzymatic browning of frozen *Agaricus bisporus* mushrooms[J]. International Journal of Refrigeration, 2015, 57, 257-264.
- [37] BACHEM C W B, SPECKMANN G J, LINDE P C G D, et al. Antisense expression of polyphenol oxidase genes inhibits enzymatic browning in potato tubers[J]. Nature Biotechnology, 1994, 12(11): 1101-1105.

The preservation and anti-browning treatment progress of *Agaricus bisporus*

XU Dong-ying, JIANG Ai-li*, HU Wen-zhong, YANG Liu, CHEN Chen

(College of Life Science, Dalian Nationalities University, Dalian 116600, China)

ABSTRACT With the increasing demand of *Agaricus bisporus*, the study of keeping the fresh and inhibiting browning of *Agaricus bisporus* has become an important issue. A lot of domestic and foreign research on the mechanism of the browning of *Agaricus bisporus* and the method of inhibiting the browning were reported. In this paper, the physiological and biochemical changes of *Agaricus bisporus* postharvest, browning mechanism, the method of inhibiting browning and fresh-keeping were summarized, and the future of *Agaricus bisporus* preservation technology and development was prospected.

Key words *Agaricus bisporus*; polyphenol oxidase; anti-browning; storage and preservation