

高压二氧化碳技术速冻双孢菇工艺优化

谭熙耀, 吴继红^{*}, 廖小军, 庞雪莉, 孙志健

(中国农业大学食品科学与营养工程学院, 国家果蔬加工工程技术研究中心, 北京 100083)

摘要:为解决果蔬速冻加工产品冻结时间长、易发生干耗的问题,该研究采用了高压二氧化碳技术(high pressure carbon dioxide, HPCD)对双孢菇进行了速冻。原料在热烫钝酶的基础上,通过单因素试验和正交试验,结合速冻产品感官评价试验对速冻工艺参数进行了优化。结果表明:HPCD 速冻双孢菇最佳工艺参数为处理釜初温 6℃、处理釜设定压力 7 MPa、卸压时间 4 min,且卸压时间为影响速冻产品品质最显著因素。HPCD 速冻技术具有良好的工业化前景。

关键词:农产品,品质控制,优化,双孢菇,速冻,高压二氧化碳,感官评价

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2011.03.068

中图分类号: TS255.36

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2011)-03-0375-06

谭熙耀, 吴继红, 廖小军, 等. 高压二氧化碳技术速冻双孢菇工艺优化[J]. 农业工程学报, 2011, 27(3): 375—380.

Tan Xiyao, Wu Jihong, Liao Xiaojun, et al. Optimization on quick freezing technology of *agaricus bisporus* by high pressure carbon dioxide[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(3): 375—380. (in Chinese with English abstract)

0 引言

双孢菇又名双孢蘑菇,是世界上产量最大的食用菌,年产量约为 200 万 t^[1]。双孢菇颜色洁白,质地脆嫩,营养丰富。但鲜蘑菇水分含量在 90%以上,组织柔软多孔,呼吸作用强,从而导致其极易腐坏;而且双孢菇子实体含有大量的酪氨酸等酚类物质,在多酚氧化酶(polyphenol oxidase, PPO)的作用下,酪氨酸等酚类物质氧化生成醌,并进一步聚合成黑色素,从而引起蘑菇褐变,这使得双孢菇不易贮藏,从而降低了其商业价值^[2-3]。而通过低温速冻法,不仅可以延长双孢菇的保鲜期,且能够最大程度地保持其色泽、风味和营养,是双孢菇的一种有效保鲜方法。

以新鲜食品为原料的速冻,必须在低温下,30 min 内快速通过最大冰晶生成带(-1~-5℃),且中心温度降至-18℃以下,所形成的晶粒小于 100 μm^[4]。目前,国内普遍使用的食用菌速冻方法有吹风式冻结法和液氮、液态 CO₂ 速冻法。吹风式冻结法,是一种传统的速冻方法,用途较广、适用品种较多、适用性较强,但存在冷却介质温度越低,制冷装置的能量消耗越大,食品干耗也增大的问题,因此此种冻结方式已难以满足在提高冻结速度的同时又能保证冻结品质量的要求^[5]。液氮、液态二氧化碳速冻法,则有着装置构造简单、操作方便,冻结速度快、冻结食品品质好,在冻结中几乎不发生干耗

的优点;与液氮相比,液体 CO₂ 具有来源广泛、制造成本低、能耗小的特点^[4-6]。使用高压 CO₂ 技术速冻,直接将样品浸没在高压液体 CO₂ 中,然后进行卸压,使得液体 CO₂ 迅速汽化,样品中心温度迅速降低,能够在 2~3 min 通过最大冰晶生成带,与传统的冻结方式相比,具有快速、高效的特点^[5]。

本试验在研究双孢菇热烫钝酶工艺的基础上,利用高压二氧化碳装置,研究处理釜初温、处理釜内 CO₂ 初压、卸压时间等工艺参数对双孢菇速冻品质的影响,以探究高压二氧化碳技术速冻双孢菇的最佳工艺条件,为高压二氧化碳速冻食用菌的工业化生产提供工艺依据。

1 材料与方法

1.1 原料与试剂

新鲜双孢菇购于中国农业大学蔬菜市场,要求菇体洁白,无褐变。含水率约为 92.1%±0.5%。

试验所用试剂柠檬酸、Na₂HPO₄、NaH₂PO₄、邻苯二酚、愈创木酚、双氧水均为分析纯。

1.2 仪器与设备

T6 紫外分光光度计,北京普析通用仪器有限责任公司;GL-20G-II 型冷冻离心机,上海安亭科学仪器厂;HR2860 型组织捣碎机,荷兰 PHILIPS 公司。

本试验所用速冻装置为中国农业大学研制的高压二氧化碳装置(CAU-HPCD-1,专利号 ZL200520132590.X),如图 1 所示^[7]。高压二氧化碳装置主要包括 CO₂ 气瓶、过滤器、低温冷却槽和高压 CO₂ 调频泵。样品放置于处理釜内,从气瓶出来的 CO₂ 由过滤器过滤除菌,再经过低温冷却槽降温液化。在高压调频泵的作用下形成较高压强的 CO₂,进入密封的处理釜,形成高压 CO₂ 处理环境^[8];卸压时,液体 CO₂ 与空气接触后迅速汽化,吸收大量热量,使菇体温度迅速降低,并在短时间内即可通过最大冰晶生成区,最终达到最低温度。

收稿日期: 2010-07-28 修订日期: 2011-01-20

基金项目: “十一五”科技部支撑计划(2008BADA1B05)

作者简介: 谭熙耀(1986—),男,江西赣州人,主要从事果蔬加工研究。北京 中国农业大学食品科学与营养工程学院,100083。

Email: tanxiyao86@163.com

*通信作者: 吴继红(1964—),女,四川德阳人,副教授,博士生导师,主要从事果蔬加工技术研究。北京 中国农业大学食品科学与营养工程学院,100083。Email: wjhcau@yahoo.com.cn

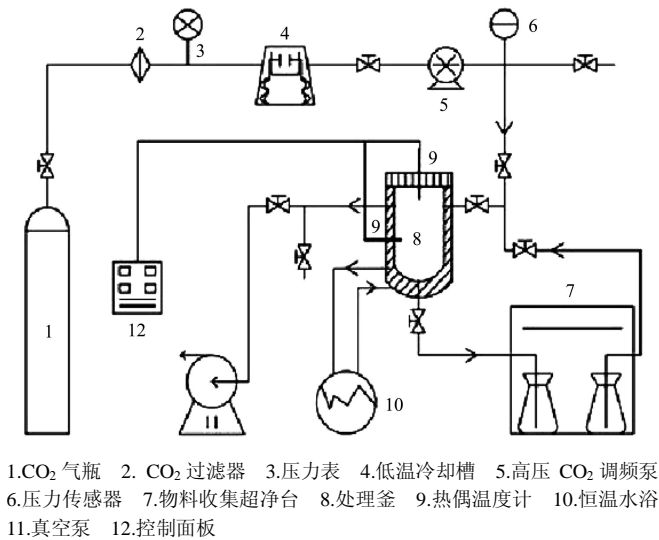


图1 高压二氧化碳装置
Fig.1 Apparatus of high pressure carbon dioxide

1.3 方法

1.3.1 工艺流程

原料选择→清洗→切分→护色→热烫→冷却→速冻→贮藏

1.3.2 原料清洗、护色

在进行加工前，在工作台上对原料进行认真的选别，去掉变色、有病虫害、机械损伤等原料，用水漂洗 2~3 次。切成厚度约为 1 cm 的小块，然后用质量分数为 0.06% 的焦亚硫酸钠溶液护色^[9]，然后反复漂洗数次。

1.3.3 热烫条件确定

将护色后的双孢菇，在质量分数为 0.1% 柠檬酸的沸水中分别热烫 0、0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、3.0 min。热烫后的双孢菇应立即冷却，先用 10~20℃ 的冷水喷淋降温 3 min，随后浸入冰浴中继续冷却，将菇体中心温度降至 5℃ 以下。

1.3.4 酶活测定

1) 酶液的提取

取 100 g 双孢菇样品按质量比 1:4 加入 pH 值 6.8 的磷酸缓冲液以打浆机捣碎 3 min 后用 200 目的绢布过滤，将滤液移入一组离心管内，用冷冻离心机（设置温度为 2~4℃）以 5 000 r/min 的转速离心分离 5 min，然后将其上清液移入另一组离心管内，以 8 000 r/min 的转速离心分离 5 min，取其上清液即为提取的酶液。收集的酶液在冰浴中放置待用^[10,11]。

2) 多酚氧化酶（PPO）活力的测定

配制质量分数为 0.2% 的邻苯二酚溶液，取该溶液 3.5 mL 于 5 mL 的比色皿中，在电热恒温水浴锅中以 30℃ 水浴 3 min，再将 1 mL 的酶液加入比色皿中，用分光光度计在 410 nm 处测定吸光度在初始 1 min 内的变化值 ΔA ，吸光度增加 0.001 定义为一个酶活力单位。该测定重复 3 次，取其平均值^[10]。

3) 过氧化物酶（POD）活力的测定

分别配制质量分数为 1.5% 愈创木酚溶液（溶剂为体积分数为 50% 的乙醇）和质量分数为 0.5% 过氧化氢溶液。

将 2 mL 的愈创木酚溶液和 1.5 mL 的过氧化氢溶液移入 5 mL 的比色皿中，以 30℃ 水浴 3 min，再将 1 mL 的酶液加入比色皿中，在 470 nm 处测定。用分光光度计在 470 nm 处测定吸光度在初始 1 min 内的变化值 ΔA ，吸光度增加 0.001 定义为一个酶活力单位。该测定重复 3 次，取其平均值^[10,18]。

1.3.4 最佳速冻工艺条件确定

1) 单因素试验

按照 1.3.3 确定的热烫时间，取适量双孢菇按照 1.3.2 和 1.3.3 的方法进行清洗、护色和热烫，并沥干水分。设定好处理釜的温度和处理釜中的 CO₂ 压力，然后将样品放入处理釜中，以铺满釜内的冷冻架为宜（约 200~250 g），并将热电偶插入其中一个样品的中心，密闭升压，达到设定压力后保压 5 min，然后进行卸压操作，在控制面板上对应的温度显示界面观察并记录产品中心温度的变化。

影响产品中心终温的主要因素有：处理釜初温、处理釜内 CO₂ 气体初压、卸压时间。试验方法如下：控制处理釜初温为 10℃、卸压时间为 4 min，研究处理釜内 CO₂ 初压对速冻的影响；控制处理釜内 CO₂ 初压为 7 MPa、卸压时间为 4 min，研究处理釜初温为对速冻影响；控制处理釜内 CO₂ 初压为 7 MPa、处理釜初温为 10℃，研究卸压时间对速冻的影响。单因素试验处理水平见表 1。各试验结果均为 3 次试验平均值。

表 1 单因素试验处理水平
Table 1 Factors and levels of the single factor test

影响因素	处理水平					
	1	2	3	4	5	6
处理釜初温/℃	2	6	10	12	15	20
处理釜设定压力/MPa	5	6	7	8	9	10
卸压时间/min	2	3	4	5	6	7

2) 正交试验

在上述单因素试验的基础上，选用 L₉(3⁴) 正交表进行正交试验确定高压 CO₂ 速冻双孢菇的最佳工艺参数，因素水平表如表 2 所示，以感官评价值为指标进行评价。

表 2 正交试验因素水平
Table 2 Factors and levels of the orthogonal test

水平	处理釜初温/℃	处理釜设定压力/MPa	卸压时间/min
1	6	6	3
2	8	7	4
3	10	8	5

3) 冻结速率

测定双孢菇通过最大冰晶生成带的时间，即中心温度从 -1℃ 降至 -5℃ 所需的时间，单位为 min^[12]。

4) 感官评价

速冻后的产品放入 -18℃ 冰箱中进行冻藏，1 个月取出，在 4℃ 下解冻 2 h 后进行感官评价。感官评价小组由 10 名具有食品感官评价知识的评价员组成。评价速冻后和解冻后产品的色泽、状态、气味、产品汁液流失等品质指标，详见表 3。每个样品的评分取各评价人员打

的平均值。选择感官品质较好的试验组作为正交试验确定速冻工艺条件的依据^[12-13]。

表 3 感官评价标准

Table 3 Standards of sensory evaluation			
感官评价	指标	具体变化	评分
速冻后	颜色	颜色正常，无任何不良变化	8~10
		颜色有轻微变化，但仍可接受	5~7
		颜色褐变严重，或脱色	1~4
	状态	表面光滑完整，不粘连	8~10
		表面略有龟裂，粘连不明显	5~7
		表面龟裂严重，或粘连在一起	1~4
解冻后	颜色	颜色正常，无任何不良变化	8~10
		颜色有轻微变化，但仍可接受	5~7
		颜色褐变严重，或脱色	1~4
	状态	组织完整，和鲜样基本一致	8~10
		组织完整，有少许汁液流出	5~7
		组织发软，大量汁液流出	1~4
	气味	气味保持良好，与鲜样接近	8~10
		气味基本保持，无异味	5~7
		气味消失或有不良异味	1~4

5) 汁液流失率

冻藏 1 个月后，取出冻品，于室温下空气中解冻，让汁液自然流出，用滤纸吸干其表面水后称质量，汁液流失率(%)=(解冻前质量-解冻后质量)/解冻前质量×100%^[12]。

2 结果与分析

2.1 热烫时间与酶活的关系

热烫的主要目的是杀死菇体细胞及部分微生物，抑制多酚氧化酶活性，减少酶促褐变的发生；同时热烫还可排除菇体组织内部分气体、水分，使菇体失水收缩，增加弹性及柔软度。在热烫液中添加适量的柠檬酸，可降低溶液的酸度，可减轻非酶褐变的发生，有利于改善菇体外观色泽^[13-14]。

双孢菇中多酚氧化酶和过氧化物酶的活性随热烫时间的变化如图 2 所示。

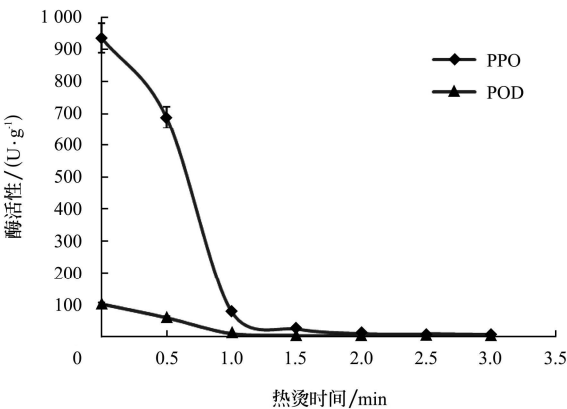


图 2 双孢菇的酶活性随热烫时间的变化

Fig.2 Enzyme activity of mushrooms changed as blanching time went on

由图 2 可知，在热烫 0~1 min 区间，双孢菇的 PPO 活性迅速降低，热烫 1.5 min 时，双孢菇中残余的 PPO 活性已经很小，而 2 min 以后，PPO 的活性已基本完全消失。双孢菇中的 POD 活性远不如 PPO，其活性随热烫时间的增加而下降得比较缓慢，但当 PPO 被钝化时，其活性也基本被钝化了。

综上所述，较合适的热烫时间当为 1.5 min，此时 PPO 残余酶活为 2.67%，POD 残余酶活为 2.29%，均低于 5%，表明二者均已被钝化。因此，尽管过氧化物酶被广泛地用来作为蔬菜热烫的指示剂，但由于双孢菇中的 PPO 活性比较高，随热烫时间的变化比较明显，所以对双孢菇热烫过程的控制采用 PPO 作为指示酶较为合适。

2.2 高压二氧化碳处理条件对菇体终温的影响

研究表明，CO₂ 液化后可在-78.5℃下释压迅速汽化吸收蒸发潜热 571.3 kJ/kg，如气体部分温度上升至-20℃，再吸收显热 49.5 kJ/kg，共吸热 620.8 kJ/kg。采用液态 CO₂ 速冻机冻结室温度为-60~-70℃^[15]。而 Mohammad 等^[16]的研究表明：对保持果蔬质量而言，-18℃和-24℃为较好的贮藏温度，但从节约能源及成本上考虑，则-18℃是更适宜的温度。

因此，双孢菇冻结最终温，即其中心最终温度，一般应低于或等于贮藏温度（-18℃）。如果食品冻结终止温度高于贮藏温度，那么就会出现食品的缓慢冻结，食品组织内部未冻结的水分就会生成大的冰晶，从而出现组织结构破坏、蛋白质变性、解冻时汁液流失增加等现象，影响速冻食品的质量^[5]。因此，双孢菇速冻后，其中心终温必须为-18℃以下。

2.2.1 处理釜初温对速冻的影响

处理釜初温对速冻过程终温的影响如表 4 所示。

表 4 处理釜初温对产品终温的影响

Table 4 Influence of initial temperature on final temperature of the reaction vessel	
处理釜初温/℃	菇体中心终温/℃
2	-28.7±1.2
6	-26.0±1.0
10	-23.7±1.2
12	-20.3±2.1
15	-17.0±2.0

注：处理釜设定压力 7MPa、卸压时间为 4 min。

由表 4 可知，处理釜初温越高，菇体速冻后的终温也越高，在处理釜初温为 15℃时，产品终温已经难以保证速冻后菇体中心温度低于-18℃的基本要求。同时从成本考虑，在能保证速冻质量的前提下应适当提高处理釜初温以降低制冷能耗。因此，处理釜初温的合理范围应为：6~10℃。

2.2.2 处理釜设定压力对速冻的影响

处理釜设定压力对速冻过程终温的影响如表 5 所示。

由表 5 可知，5~7 MPa 时，产品终温随处理釜初压增大而显著降低，当处理釜设定压力大于 7 MPa 时，产品终温变化不明显。这可能是因为处理釜设定压力较低时，CO₂ 的量过少，卸压完成后不足以使菇体温度降到所

需温度；而初压达到某一程度后，卸压时 CO₂ 液体汽化吸热过多，使部分 CO₂ 液体形成了干冰包裹在菇体表面，反而阻碍了菇体温度的进一步降低。因此，处理釜设定压力应设在 6~8 MPa 较为合适。

表 5 处理釜设定压力对产品终温的影响
Table 5 Influence of setting pressure on final temperature of the reaction vessel

处理釜设定压力/MPa	菇体中心终温/℃
5	-10.0±2.0
6	-22.7±1.5
7	-24.3±1.5
8	-25.0±1.0
9	-25.0±1.0
10	-25.3±0.6

注：处理釜初温 10℃、卸压时间 4 min。

2.2.3 卸压时间对速冻的影响

卸压时间对速冻过程终温的影响如表 6 所示。

表 6 卸压时间对产品终温的影响
Table 6 Influence of pressure relief time on final temperature

卸压时间/min	菇体中心终温/℃
2	-18.0±2.0
3	-23.0±1.0
4	-24.3±0.6
5	-24.0±1.0
6	-19.3±1.5
7	-12.0±2.0

注：处理釜初温 10℃、处理釜设定压力 7MPa。

由表 6 可知，卸压速率较快和较慢时，菇体终温很难达到所需温度；只有合适的卸压速率才能使菇体终温降到合适的范围。这是因为卸压过快时，部分液体来不及汽化便随气体冲出处理釜；卸压过慢，则会因为环境与处理釜存在的热交换而使釜内温度难以降低。同时，研究发现卸压时间为 2 min 时，还可观察到菇体表面发生龟裂。因此，合适的卸压时间应为 3~5 min。

2.3 正交试验分析

正交试验的结果如表 7 所示。

由表 7 的 *R* 值可知，影响速冻双孢菇感官指标的重要因素是卸压时间 *C* 和处理釜初温 *A*，处理釜设定压力的 *R* 值小于空列 *R* 值，为次要因素。按照各因素的最佳水平选取为 A₁B₂C₂，即选择处理釜初温为 6℃，处理釜设定压力为 7 MPa，卸压时间为 4 min。

卸压时间过长和过短均会对速冻双孢菇的感官品质产生不良影响。这是因为卸压时间过长，产品通过最大冰晶生成区的时间也较长，而且终温也会偏低；而卸压时间过短，由于冻结速率过快，产品因温度梯度引起的热应力造成了断裂现象。同时低温断裂还会引起组织内酶活的上升，并导致解冻后汁液流失率的增加^[17]。

对表 7 的试验结果进行方差分析，结果如表 8 所示，卸压时间对速冻双孢菇产品品质有着显著影响。因此，速冻过程中的关键在于控制好卸压的时间。

表 7 正交试验结果
Table 7 Results of the orthogonal test

试验号	A 处理釜 初温	B 处理釜设定 压力	C 卸压时间	空列	感官 评分
1	1	1	1	1	30.8
2	1	2	2	2	37.0
3	1	3	3	3	29.1
4	2	1	2	3	36.0
5	2	2	3	1	26.2
6	2	3	1	2	27.7
7	3	1	3	2	22.9
8	3	2	1	3	28.6
9	3	3	2	1	33.3
<i>K</i> ₁	96.9	89.7	87.1	90.3	
<i>K</i> ₂	89.9	91.8	106.3	87.6	
<i>K</i> ₃	84.8	90.1	78.2	93.7	
<i>k</i> ₁	32.3	29.9	29.0	30.1	
<i>k</i> ₂	30.0	30.6	35.4	29.2	
<i>k</i> ₃	28.3	30.0	26.1	31.2	
极值 <i>R</i>	4.0	0.7	9.4	2.0	

表 8 方差分析
Table 8 Variance analysis of orthogonal test

变异来源	平方和	自由度	均方	<i>F</i> 值
反应釜初温	24.60	2	12.30	3.95
反应釜设定压力	0.83	2	0.41	0.13
卸压时间	137.50	2	68.75	22.07*
误差	6.23	2	3.11	

注：F_{0.05}(2,2)=19.00，F_{0.01}(2,2)=99.00。

2.4 验证试验

对最优组合 A₁B₂C₂ 进行验证，测定其冻结速度和中心冻结终温，冻藏 1 个月后再进行感官评价，并测定其汁液流失率。

测定结果为：产品中心冻结终温为-26.3±0.6℃，冻结速率为(1.75±0.06)min，感官评分为 36.8，汁液流失率为 5.32%。可见，根据正交试验选定和验证试验的最优工艺感官评价基本吻合，而且其他指标也符合速冻的要求。因此最佳工艺参数应为处理釜初温为 6℃，处理釜设定压力为 7 MPa，卸压时间为 4 min。

3 结 论

1) 利用高压 CO₂ 技术对双孢菇进行速冻，前处理中最合适的热烫时间当为 1.5 min，能够把 PPO 和 POD 的活性钝化到允许的范围内。

2) 速冻的最佳工艺参数为处理釜初温为 6℃，处理釜设定压力为 7 MPa，卸压时间为 4 min，此时产品的感官性能达到较佳。卸压时间对速冻双孢菇产品品质有着显著影响。

利用高压 CO₂ 技术对蘑菇进行速冻，具有操作简单，耗时短等优点，具有良好的工业化前景。然而，其缺点在于卸压时间无法精密控制，导致卸压时的冻结过程稳

定性稍差, 这对速冻双孢菇的品质产生不良影响。因此, 在今后的研究中还有待于对速冻装置加以研究改进, 以达到更佳的产品速冻品质。

[参 考 文 献]

- [1] Chang T S. The world mushroom industry: Trends and technological development[J]. Mid-Taiwan Journal of Medicine, 2006, 12(2): 76—82.
- [2] 李清明, 谭兴和, 王锋, 等. 速冻双孢蘑菇护色工艺研究[J]. 食品工业科技, 2007(3): 160—162.
Li Qingming, Tan Xinghe, Wang Feng, et al. Study on color-protecting technology of quick-frozen agaricus bisporus[J]. Science and Technology of Food Industry, 2007(3): 160—162. (in Chinese with English abstract)
- [3] Taghizadeh M, Gowen A, Ward P, et al. Use of hyperspectral imaging for evaluation of the shelf-life of fresh white button mushrooms (*Agaricus bisporus*) stored in different packaging films[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2010, 11(3): 423—431.
- [4] 张瑞宇. 二氧化碳在现代食品领域中的技术应用与进展[J]. 低温与特气, 2003(3): 4—8.
Zhang Ruiyu. Technological applications and progresses of carbon dioxide in modern food technology field[J]. Low Temperature and Specialty Gases, 2003(3): 4—8. (in Chinese with English abstract)
- [5] 邢淑婕, 刘开华. 蔬菜速冻工艺研究进展[J]. 长江蔬菜, 2004(1): 37—41.
Xing Shujie, Liu Kaihua. Research direction on fast-freezing technology of vegetables[J]. Journal of Changjiang Vegetables, 2004(1): 37—41. (in Chinese with English abstract)
- [6] 陈绍桥. 液氮在食品速冻中的应用[J]. 肉类工业, 2002(10): 36—37.
Chen Shaoqiao. Application of liquid nitrogen on fast-frozen food[J]. Meat Industry, 2002(10): 36—37. (in Chinese with English abstract)
- [7] 廖红梅, 周林燕, 廖小军, 等. 高密度二氧化碳对牛初乳的杀菌效果及对理化性质影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(4): 260—264.
Liao Hongmei, Zhou Linyan, Liao Xiaojun, et al. Effects of dense phase carbon dioxide on sterilization and physical-chemical properties of bovine colostrums[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(4): 260—264. (in Chinese with English abstract)
- [8] 桂芬琦. 高密度二氧化碳技术对酶活性和苹果果汁颜色影响分析[D]. 北京: 中国农业大学, 2006.
Gui Fenqi. Effects of Dense Phase Carbon Dioxide on Enzyme Activity and Color of Cloudy Apple Juice[D]. Beijing: China Agriculture University, 2006. (in Chinese with English abstract)
- [9] 赵竹青. 双孢蘑菇速冻加工技术[J]. 中国果菜, 2010(4): 48—49.
Zhao Zhuqing. Fast-freezing processing technology of agaricus bisporus[J]. Chinese Fruits and Vegetables, 2010(4): 48—49. (in Chinese with English abstract)
- [10] 林志民, 檀金钟, 郭心耕, 等. 速冻蘑菇热烫处理对其酶活性、产品得率和色泽的影响[J]. 福州大学学报: 自然科学版, 2003, 31(2): 257—260.
Lin Zhimin, Tan Jinzhong, Guo Xingeng, et al. Influence of blanching treatments on the enzyme activity, product yield and color of quick frozen mushrooms[J]. Journal of Fuzhou University: Nature Science, 2003, 31(2): 257—260. (in Chinese with English abstract)
- [11] 马海燕. 冻前处理对速冻香菇和西兰花品质的影响研究[D]. 无锡: 江南大学, 2009.
Ma Haiyan. Effect of Pre-Treat on the Quality of Frozen Mushrooms and Broccoli[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2009. (in Chinese with English abstract)
- [12] 樊建, 赵天瑞, 覃宇悦, 等. 白灵菇液氮速冻工艺研究[J]. 食品工业科技, 2008(5): 238—240.
Fan Jian, Zhao Tianrui, Qin Yuyue, et al. Study on freezing technology of *Pleurotus ferulate vamebrodensis lenzi* by liquid nitrogen quick freezing[J]. Science and Technology of Food Industry, 2008(5): 238—240. (in Chinese with English abstract)
- [13] Jaworska G, Bernas E, Cichon Z, et al. Establishing the optimal period of storage for frozen *Agaricus bisporus*, depending on the preliminary processing applied[J]. International Journal of Refrigeration, 2008, 31(6): 1042—1050.
- [14] 李娜. 速冻褐蘑菇的加工工艺[J]. 农产品加工(学刊), 2008(9): 37—38.
Li Na. The research on quick-freezing process of portobello mushroom[J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2008(9): 37—38. (in Chinese with English abstract)
- [15] 陆国维. 二氧化碳快速冻结机研究[J]. 食品工业科技, 2002(3): 63—65.
Lu Guowei. Study on carbon dioxide fast freezing machine[J]. Science and Technology of Food Industry, 2002(3): 63—65. (in Chinese with English abstract)
- [16] Sahari M A, Boostani F M, Hamidi E Z. Effect of low temperature on the ascorbic acid content and quality characteristics of frozen strawberry[J]. Food Chemistry, 2004, 86(3): 357—363.
- [17] 彭丹, 邓洁红, 谭兴和, 等. 果蔬速冻保鲜技术研究进展[J]. 保鲜与加工, 2009, 9(2): 5—9.
Peng Dan, Deng Jiehong, Tan Xinghe, et al. Advances of research on quick-freezing fruits and vegetables[J]. Storage and Process, 2009, 9(2): 5—9. (in Chinese with English abstract)
- [18] 阮晖, 陈美龄, 潘冰青, 等. 香菇速冻前漂烫预处理工艺优化研究[J]. 中国食品学报, 2009, 9(1): 148—152.
Ruan Hui, Chen Meiling, Pan Bingqing, et al. Studies on the Optimization of Pretreatment Technology for *Lentinus Edodes* Prefreezing Heating and Blanching[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2009, 9(1): 148—152. (in Chinese with English abstract)

Optimization on quick freezing technology of *agaricus bisporus* by high pressure carbon dioxide

Tan Xiyao, Wu Jihong^{*}, Liao Xiaojun, Pang Xueli, Sun Zhijian

(College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, National Engineering Research Center for Fruit and Vegetable Processing, Beijing 100083, China)

Abstract: In order to reduce freezing time and moisture loss of quick frozen fruits and vegetables, the HPCD (high pressure carbon dioxide) technology was used in quick freezing process of *agaricus bisporus*. Based on blanching treatments, single factor experiment, orthogonal experiment and sensory evaluation were designed to optimize the quick-freezing technology parameters. The results showed that the best sensory quality of the quick-freezing products could attain, when the pressure-relief time was 4 minutes and the initial temperature and setting pressure of the reaction vessel was 6°C, 7 MPa, respectively. Moreover, pressure-relief time had the most significant influence on product quality. Industrialization prospect of HPCD (high pressure carbon dioxide) technology is suggested.

Key words: agricultural products, quality control, optimization, *agaricus bisporus*, quick freezing, high pressure carbon dioxide, sensory evaluation