研究论文

柠檬酸亚锡二钠对双孢菇罐头的护色作用

张婷婷， 夏文水*， 姜启兴， 许艳顺
（江南大学 食品学院，江苏 无锡 214122）

摘要：研究柠檬酸亚锡二钠(DSC)对双孢菇罐头的护色作用。在双孢菇切片预处理和罐头汤汁中添加DSC与其他常用护色剂及其正交复合护色剂，测定产品的PPO残余酶活和褐变度BD等质量指标。在预处理阶段，较之植酸、柠檬酸、VC，DSC对双孢菇酶促褐变有更佳的抑制作用，预煮前以最佳复合护色剂(质量分数)0.2% 柠檬酸，0.03% DSC，0.02% 植酸，0.03% VC护色液浸泡预处理可有效防止菇片褐变；DSC用于双孢菇罐头汤汁比其他护色剂有更显著的褐变抑制效果，汤汁复合护色剂的最佳参数组合为（质量分数）：0.03% DSC，0.02% 植酸，0.3% $CaCl_2$ 和 0.1% 柠檬酸，各因素对其影响程度为：DSC>植酸>氯化钙。DSC复合护色剂可有效抑制双孢菇罐头褐变，效果可与焦亚硫酸钠媲美，可作为蘑菇罐头中替代焦亚硫酸钠的新型安全高效护色剂。

关键词：多酚氧化酶；柠檬酸亚锡二钠；褐变；双孢菇；罐头
中图分类号：S 646.1 **文献标志码**：A **文章编号**：1673—1689(2013)01—0082—07

Research on Anti-Browning of Disodium Stannous Citrate in Canned *Agaricus bisporus*

ZHANG Ting-ting， *XIA Wen-shui**， *JIANG Qi-xing*， *XU Yan-shun*
(School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: The investigation was conducted to determine the efficacy of DSC as a browning inhibition agent of fresh-cut and canned *Agaricus bisporus*. DSC and other anti-browning agents as well as the new compound color fixative ware used in pretreatment and canned *Agaricus bisporus*. Residual activity of PPO and the browning degree(BD) were measured as performance figures. DSC played an important part in enzymatic browning inhibition, compared to other anti-browning agents such as phytic acid, citric acid and VC. The sliced *Agaricus bisporuss* pretreated with mixed liquor containing 0.2% citric acid, 0.03% DSC, 0.02% phytic acid, 0.03% VC were effectively kept from enzymatic browning and then blanched. In addition, the products with DSC resulted in better performance than those with sodium metabisulphite as well as other anti-browning agents. The best compound color fixative of anti-browning agents in the cans was to be 0.03% DSC, phytic acid 0.02%, citric acid 0.1% and 0.3% $CaCl_2$, which leaded to a similar effect of browning inhibition, as compared with 0.02% of sodium metabisulphite. In general, DSC proves to be able to take the place

收稿日期：2012-03-01
基金项目：农业科技成果转化资金项目(2011GB2E000003)。
* **通信作者**：夏文水(1958—)，男，江苏南京人，工学博士，教授，博士研究生导师，主要从事食品加工技术研究。E-mail:Xiaws@jiangnan.edu.cn

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

of sodium metabisulphite and act as a new safe and effective anti-browning agent used in canned *Agaricus bisporuss*.

Keywords: PPO, disodium stannous citrate, browning, *Agaricus bisporus*, canned

双孢菇(*Agaricus bisporus*)属草腐菌，中低温性菇类，含有丰富的蛋白和多糖具一定的抗癌活性，有抑制肿瘤、降低血压作用。我国稻草、麦草丰富，气候适合双孢菇生长，总产占世界第二位，主要加工产品为罐头，是中国果蔬加工的主导和传统出口产品，在国际贸易量中占首位，但双孢菇在加工过程中易变色，双孢菇的褐变主要是酶促褐变，酚类物质如邻苯二酚在多酚氧化酶(Polyphenol Oxidase，简称 PPO) 作用下发生酶促褐变形成醌类化合物，醌自身呈浅褐色，但醌类物质通过非酶聚合反应成为较高相对分子质量的暗褐色化合物；另有非酶褐变如还原性物质与多糖发生美拉德反应等[1-3]。

国内外已有对抑制酶促褐变的相关研究，Nerya 研究发现二苯基磷酸(DPP)能渗入细胞组织而抑制少量 PPO 活力防止鲜切蘑菇褐变，但护色效果不佳且 DPP 在蘑菇组织内不稳定，易代谢分解[4]；抗坏血酸及其衍生物能抑制鲜切哈密瓜 PPO 酶活，但其自身易氧化而引起色变[5-6]；半胱氨酸不能抑制 PPO 酶活，但能与苹果酶促反应产物-醌类物质结合成无色硫化物从而抑制褐变 [7]；Yue-Xiu Si 研究发现橙皮素可通过降低 PPO 疏水性而抑制其活性[8]；Yueming Jiang 研究发现用谷胱甘肽和柠檬酸能抑制荔枝 PPO 活性[9]。中国双孢菇罐头生产中普遍采用焦亚硫酸钠护色，虽控制褐变效果显著，但由于 SO_2 残留有害于人体健康，所以国外禁止用于罐头生产[10]。所以需要找到一种新型的双孢菇罐头安全高效护色剂应，抑制褐变反应发生。

柠檬酸亚锡二钠(Disodium Stannous Citrate，简称 DSC)，具强还原性，在罐中逐渐消耗残余氧气，阻断食品由于空气氧化作用而引起的氧化腐败，延缓食品的氧化所引起的不利变化从而起到抗氧护色作用，保持食品的色泽和风味。金锭梁等研究发现柠檬酸亚锡二钠对鲜切藕产品低温保藏期间的褐变和 PPO 活力有明显抑制作用，可作为亚硫酸盐的一种替代物应用于鲜切莲藕产品中[11]。

作者以柠檬酸亚锡二钠作为护色剂，研究 DSC 处理对双孢菇罐头产品褐变及 PPO 活性的影响，并与常用护色剂进行比较和复合优化，旨在探索新型的安全高效护色剂代替亚硫酸盐及类似产品的非硫护色方法。

1 材料与方法

1.1 原料与设备

新鲜双孢菇：购于无锡市雪浪农贸市场，菌柄完整，菌盖直径 3~4 cm，成熟未开伞；

柠檬酸亚锡二钠：西陇化工厂股份有限公司产品；焦亚硫酸钠、柠檬酸、植酸、$CaCl_2$、VC 均为分析纯；数型恒温水浴锅：HH-2，国华电气有限公司产品；紫外分光光度计：UV2100，尤尼柯(上海)仪器有限公司产品；高速冷冻离心机：4K15，SIGMA 公司产品；高速组织捣碎机：DS-1，上海标本模型制造厂产品；色差仪：Ultra Scan PRO，上海信联创体电子有限公司产品。

1.2 实验方法

1.2.1 双孢菇罐头工艺流程 参照 Zhimin Li[13-14]等的试验方法并略有修改，工艺流程如下：

选样→修剪→称重→清洗→切片→护色处理→预煮→冷却→沥干→挑选修整→装罐加汤→杀菌冷却→室温贮藏

1.2.2 DSC 与常用护色剂对双孢菇切片预处理护色效果比较 选取无腐烂变质的新鲜双孢菇，洗去泥土，去根，剔除损伤、褐变的双孢菇，切分为 0.5 cm 左右的薄片，分别置于如表 1 所示不同质量分数的 DSC、焦亚硫酸钠、柠檬酸、植酸、VC 及 NaCl 护色溶液中在常温条件下处理 15 min，取出沥干，测定多酚氧化酶活力(PPO)和褐变度(BD)。

1.2.3 双孢菇切片预处理复合护色剂各组分最佳配比的确定 在满足《食品添加剂使用卫生标准》(GB 2760-2011)用量规定的前提下，以防止双孢菇切片酶促褐变为目的，在 1.2.1 单因素试验的基础上，采用正交实验方法正交试验如表 2 所示。以 DSC、柠檬酸、植酸和 VC 为因素配制成复合护色液进行如表 2 所示 $L_9(3^4)$表正交实验，确定复合护色剂中个护色剂用量。分别以去离子水为空白参照

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

CK_1，以0.02% $NaHSO_3$ 的护色液为对照组 CK_2。护色后测定双孢菇褐变度 BD 和 PPO 残余酶活。

表 1 双孢菇切片预处理护色剂的种类及质量分数筛选表

Table 1 Arrange test of single factor of anti-browning agents for fresh-cut *Agaricus bisporus* pretreatment

%

质量分数梯度	DSC	焦亚硫酸钠	柠檬酸	植酸	VC	NaCl
1	0.010	0.010	0.1	0.005	0.01	0.1
2	0.015	0.015	0.2	0.010	0.02	0.2
3	0.020	0.020	0.3	0.015	0.03	0.3
4	0.025	0.025	0.4	0.020	0.04	0.4
5	0.030	0.030	0.5	0.025	0.05	0.5

注：鲜菇与护色剂溶液的质量比为 1∶4。

表 2 鲜切双孢菇护色液因素水平表

Table 2 Orthogonal design of anti-browning agents for fresh-cut *Agaricus bisporus* pretreatment

水平	柠檬酸 *A*/%	DSC *B*/%	植酸 *C*/%	VC *D*/%
1	0.2	0.01	0.010	0.01
2	0.3	0.02	0.015	0.03
3	0.4	0.03	0.020	0.05

1.2.4 DSC 与常用护色剂对双孢菇罐头护色效果比较 经 1.2.2 实验结果得出的最佳正交复合护色剂预处理过的菇片再经质量分数 0.2%柠檬酸溶液预煮 9 min 后冷却、装罐，按表 3 所示配制成护色液汤汁制成双孢菇罐头，以空白（去离子水）为对照组。新鲜双孢菇制成罐头样品贮藏于室温（25 ℃）和自然光照条件下 6 个月，每隔一个月测定多酚氧化酶活力（PPO）和褐变度（BD）。

表 3 罐头护色剂的种类及质量分数筛选表

Table 3 Arrange test of single factor of anti-browning agents for canned *Agaricus bisporus*

%

质量分数梯度	DSC	焦亚硫酸钠	柠檬酸	植酸	VC	氯化钙
1	0.010	0.010	0.1	0.005	0.01	0.1
2	0.015	0.015	0.2	0.010	0.02	0.2
3	0.020	0.020	0.3	0.015	0.03	0.3
4	0.025	0.025	0.4	0.020	0.04	0.4
5	0.030	0.030	0.5	0.025	0.05	0.5

1.2.5 双孢菇罐头的复合护色剂各组分最佳配比的确定 参照 Zhimin Li[12]等的试验方法，在含有质量分数 0.30% 柠檬酸的护色液中，以 DSC、植酸和氯化钙为三因素配制成复合护色汤汁进行 $L_9(3^4)$ 表正交实验制备罐头，以质量分数 0.30%柠檬酸的护色液所得样品为空白参照 CK_3，0.02% $NaHSO_3$ 的护色液所得样品为空白参照 CK_4。新鲜双孢菇制成罐头样品贮藏于室温（25 ℃）和自然光照条件下 6 个月，每隔一个月测定多酚氧化酶活力（PPO）和褐变度（BD）。

表 4 罐头护色剂的种类及质量分数筛选表

Table 4 Orthogonal design of anti-browning agents for canned *Agaricus bisporus*

水平	DSC *A*/%	植酸 *B*/%	氯化钙 *C*/%
1	0.01	0.010	0.2
2	0.02	0.015	0.3
3	0.03	0.020	0.4

1.2.6 褐变度的测定 参照 Mohapatra D, Gemma Oms-Oliu[13-14]的方法，将处理好的双孢菇切片表面的水分用纸巾吸干，直接用色差仪测定。L^*（亮度），a^*（红-绿）和 b^*（黄-蓝）参数值通过反射测量。每组样品至少进行 6 次重复测定，取 ΔE^* 平均值为褐变度 BD。

1.2.7 多酚氧化酶活力的测定 粗酶液的提取：参照 Fatih Kalyoncu、潘永贵等[15-16]方法，称取 20 g 样品，与 80 mL 预先冷冻至-26 ℃的丙酮一起倒入组织捣碎机中匀浆（20 000 r/min，2 min），迅速抽滤，保留滤纸上的沉淀部分，将沉淀薄层中的残留的丙酮用冷风吹去，至沉淀无丙酮味，将所得丙酮粉转移至 40 mL 0.1 mol/L PBS（pH 6.5）中搅拌 30 min，离心（4 ℃，10 000 r/min，20 min）。所得上清液即为 PPO 粗酶液。

测定方法：在 410 nm 下测定粗酶液的紫外吸收分光光度值 $A_{410\,nm}$，比色皿中加入 0.1 mol/L PBS 1.5 mL，0.1 mol/L 邻苯二酚 1 mL，PPO 粗酶液 0.5 mL，混匀后立即用 410 nm 比色，粗酶液加入后开始计时，每 10 秒记录一次 A 值随时间变化而变大，以吸光值为纵坐标，反应时间为横坐标，作吸光值-时间曲线，从最初直线线段斜率（$\Delta A/\Delta t$）计算多酚氧化酶的活力（参比以缓冲液代替酶液）。酶活定义为：在测定条件下，每 min 引起吸光度变化 0.01 所需酶量。每组实验进行 3 次重复测定，取 3 次平均值。

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

2 结果与讨论

2.1 DSC 对鲜切双孢菇的护色效果研究

2.1.1 DSC 与不同护色剂对双孢菇切片预处理护色效果的影响 DSC 与常用护色剂的护色效果比较见图 1，由此可知，DSC 与常用护色剂均能起到良好的护色作用，而且随着护色剂质量分数增大，鲜切双孢菇的 PPO 活力和褐变度的抑制效果逐渐增强，但增长速率渐趋平缓；各抑制剂护色效果依次为：焦亚硫酸钠>DSC>植酸>柠檬酸>VC>氯化钠>空白，尽管焦亚硫酸钠、DSC 和植酸的质量分数较低，但其抑制效果均优于较高质量分数的 VC、柠檬酸及氯化钠，其中质量分数 0.02%~0.03% DSC 的护色效果可与焦亚硫酸钠媲美，但经后者处理过的双孢菇切片过于苍白，失去了原本的灰白色质感。金锭梁研究发现，在 pH 3~6 条件下用 DSC 浸泡处理后的鲜切藕产品可保持较低的褐变度和多酚氧化酶活力[11]；植酸不仅能降低溶液 pH 值，还可与多种多价金属络合，从而抑制多价金属对 PPO 酶促反应的催化作用，由此起到护色作用[17]，B Dave、Lixiang Liu 等研究发现其在加拿大大豆、苦丁茶等果蔬制品中取得了较为理想的护色效果[18-19]。

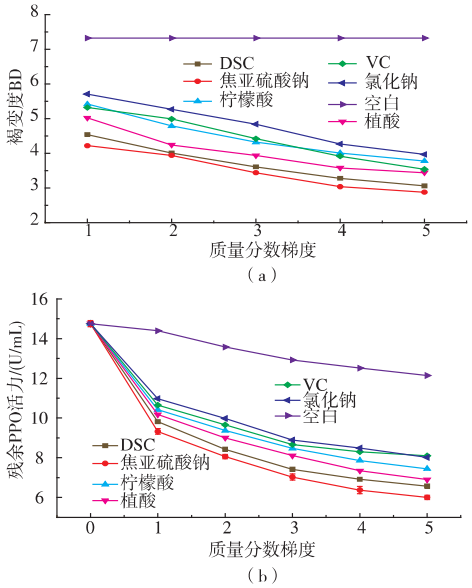


图 1 常温光照条件下不同质量分数护色剂对双孢菇切片的护色效果比较

Fig. 1 Comparison analysis of browning inhibition effect of DSC and other anti-browning agents on fresh-cut Agaricus bisporus at room temperature (25 ℃) in natural light condition

2.1.2 双孢菇切片预处理正交实验结果分析 从实验结果可以看出，与 2.1.1 结果相比较，正交组复合护色剂对 PPO 活性抑制及防褐变的效果明显优于单一护色剂溶液，表明不同护色剂之间有一定的协同作用。根据表 5 正交分析结果可以得出，各因素对褐变度 BD 和 PPO 残余酶活的影响程度均依次为：DSC>柠檬酸> 植酸 > VC，这与单因素试验结果相同。复合护色剂的最优参数组合为（质量分数）：柠檬酸 0.2%，DSC 0.03%，植酸 0.02%，VC 0.03%，在最优护色处理下，菇片色泽呈现双孢菇特有的灰白色，形态正常，护色液清澈透明。

表 5 双孢菇褐变抑制正交实验 $L_9(3^4)$ 结果

Table 5 Result of orthogonal design for fresh-cut Agaricus bisporus pretreatment

处理号	因素				褐变度 BD	PPO 残余酶活/(U/mL)
	柠檬酸 *A*	DSC *B*	植酸 *C*	VC *D*		
1	1	1	1	1	2.94	6.21
2	1	2	2	2	2.23	5.63
3	1	3	3	3	2.17	4.67
4	2	1	2	3	2.77	5.78
5	2	2	3	1	2.12	4.19
6	2	3	1	2	2.08	4.37
7	3	1	3	2	2.72	5.92
8	3	2	1	3	2.79	6.06
9	3	3	2	1	2.52	5.55
CK1	去离子水				2.88	8.68
CK2	0.02%				2.14	4.56
K_{A1}	2.447	2.810	2.603	2.527		
K_{A2}	5.503	5.970	5.653	5.317		
K_{B1}	2.323	2.380	2.507	2.343		
K_{B2}	4.780	5.293	5.653	5.307		
K_{C1}	2.677	2.257	2.337	2.577		
K_{C2}	5.843	4.863	4.927	5.503		
R_A	0.354	0.553	0.266	0.234		
R_B	1.063	1.107	0.726	0.196		
因素主次	*B*>*A*>*C*>*D*					
最优水平	2	3	3	2		

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

2.2 DSC 对双孢菇罐头的护色效果研究

2.2.1 DSC 与不同护色剂对双孢菇罐头护色效果的比较 罐头汤汁的正交复配设计方案及实验结果如表 2 所示。由于双孢菇罐头在开罐期间 PPO 活性抑制率均在 99.97%以上，故后期以褐变度 BD 作为主要参考因素。

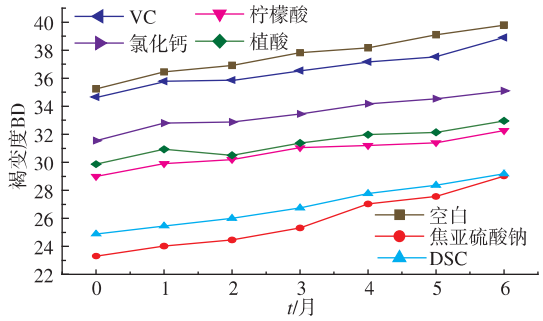


图 2 常温光照条件下各种护色剂对双孢菇罐头的护色效果比较

Fig. 2 Comparison analysis of anti-browning agents on canned Agaricus bisporus at room temperature (25 ℃) in natural light condition

不同护色剂对双孢菇罐头护色效果的影响结果如图 2 所示，数据结果为各护色剂的最大浓度实验组产品褐变度平均值。由图可知，焦亚硫酸钠和 DSC 防褐变效果最好，其次是植酸、柠檬酸和氯化钙，VC 效果最差，褐变度与空白对照组相近，该组产品汤汁暗黄，菇片也呈现较深的黄褐色，这可能是由于 VC 虽有一定还原性[20]，但因其本身在高温杀菌过程中受热见光易发生自身氧化而褐变，从而导致色泽的变化，这与 O. Lamikanra 等[5-6]的研究结果相似。氯化钙的护色作用是通过保持细胞膜结构的完整性和稳定性，阻止底物与酶 PPO 的接触，延缓褐变的发生，同时对果肉具有明显的护脆效果[19-21]。焦亚硫酸钠组的汤汁和菇片均显黄色，且有苍白的感觉，失去了蘑菇本身的色泽，缺少真实感。故以 DSC 效果最佳。

2.2.2 双孢菇罐头正交实验结果分析 从表 6 双孢菇罐头正交试验结果可以看出，各因素对褐变度 BD 的影响程度均依次为：DSC>植酸>氯化钙，其中 DSC 和植酸对双孢菇罐头防褐变效果均有显著性影响；罐头护色汤汁的复合护色剂的最优参数组合为：DSC 0.03%+植酸 0.02%+氯化钙 0.30%。金锭梁研究发现，柠檬酸亚锡二钠可能具有较强还原性，可通过消耗罐中残余的氧气将 Sn^{2+} 氧化成 Sn^{4+} 来达到抗氧化目的，而在罐头中，柠檬酸和植酸可能对其的抗氧化性有一定增效作用[11,22]。

表 6 罐头汤汁 $L_9(3^4)$ 配方试验结果

Table 6 Result of orthogonal design for canned Agaricus bisporus

水平	因素			褐变度 BD
	DSC *A*/%	植酸 *B*/%	氯化钙 *C*/%	
1	1	1	1	25.39
2	1	2	2	25.06
3	1	3	3	24.48
4	2	1	2	24.96
5	2	2	3	24.43
6	2	3	1	24.24
7	3	1	3	24.09
8	3	2	1	23.91
9	3	3	2	23.76
CK3	0.30%			37.64
CK4	0.02%			25.82
k_1	24.977	24.813	24.513	24.527
k_2	24.543	24.467	24.593	24.463
k_3	23.920	24.160	24.333	24.450
R_1	1.057	0.653	0.260	0.077
因素主次	*A*>*B*>*C*			
最优水平	$A_3B_3C_3$			
方差分析	169.300*	64.100*	10.600	

注：褐变度为保藏期内 6 个月的平均值。

图 3 表示了分别以复合护色剂、柠檬酸亚锡二钠、焦亚硫酸钠及去离子水空白为汤汁护色液对常温光照条件下 6 个月保存期内的双孢菇罐头的护色效果比较，数据结果为各实验组产品褐变度平均值。由图可知，与空白组相比较，经护色液处理过的产品的褐变程度均得到了有效抑制，在双孢菇罐头的 6 个月保藏期内，正交复合护色剂取得了最佳的护色效果，而柠檬酸亚锡二钠的褐变抑制效果与亚硫酸钠相当。

3 结 语

1）与常用护色剂相比，DSC 对双孢菇 PPO 活力和褐变度有明显的抑制作用，护色效果优于柠檬酸、植酸和氯化钙，而与焦亚硫酸钠效果相当；预煮

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

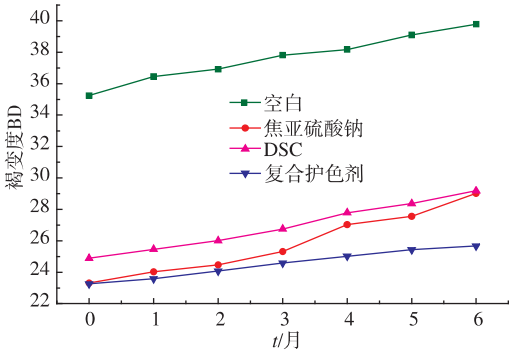


图 3　常温光照条件下复合护色剂与其他护色剂对双孢菇罐头的护色效果比较

Fig. 3　Comparison analysis of compound color fixative and other anti-browning agents on canned Agaricus bisporus at room temperature (25 ℃) in natural light condition

前经质量分数 0.2%柠檬酸，0.03% DSC，0.02%植酸，0.03% VC 复合护色剂浸泡处理 15 min 后的双孢菇可保持较低的褐变度和 PPO 活力，表明在预处理阶段，DSC 对双孢菇切片酶促褐变的抑制作用是非常显著的；

2）DSC 在双孢菇罐头中也有理想的褐变抑制效果，且 DSC 的复合护色剂汤汁质量分数 0.03% DSC，0.02% 植酸，0.30% 氯化钙对双孢菇罐头在室温自然光照保藏期间质量分数均有非常显著的护色效果，可与 0.02%焦亚硫酸钠媲美，各因素对其影响程度为：DSC>植酸>氯化钙。DSC 可作为双孢菇罐头中替代焦亚硫酸钠的新型安全高效护色剂。

综上，双孢菇罐头的最佳工艺条件为：质量分数 0.2%柠檬酸，0.03% DSC，0.02%植酸，0.03% VC 复合护色剂浸泡预处理 15 min；再经 0.2%柠檬酸溶液预煮 9 min 后冷却、装罐，按复合护色剂汤汁 0.03% DSC，0.02%植酸，0.30%氯化钙制成双孢菇罐头，在室温（25 ℃）自然光照下保存，取得较好的褐变抑制效果。

迄今为止，国内外关于柠檬酸亚锡二钠对双孢菇的褐变抑制机理的研究较少，尚无明确清晰的原理分析，作者仅是应用 DSC 进行双孢菇罐头的初步试验，具体的作用机理还需进一步的研究。

参考文献：

[1] D Rico，A B Martin-Diana，J M Barat. Extending and measuring the quality of fresh-cut fruit and vegetables：a review[J]. **Trends in Food Science and technology**，2007，18：373-386.

[2] Preeti Singh，Horst-Christian Langowski，Ali AbasWani. Recent advances in extending the shelf life of fresh *Agaricus bisporuss*：a review[J]. **Food Agric**，2010，90：1393-1400.

[3] M Beaulieu，M Beliveau，G DAprano，M Lacroix. Dose rate effect of γ-Irradiation on phenolic compounds，polyphenol oxidase and browning of *Agaricus bisporus*[J]. **Agric Food Chem**，1999，47：2537-2543.

[4] Nerya O，Ben-Arie R，Luzzatto T. Prevention of Agaricus bisporus postharvest browning with tyrosinase inhibitors[J]. **Postharvest Biol Technol**，2006，39：272-277.

[5] O Lamikanra，M A Wayson. Effects of ascorbic acid on peroxidase and polyphenol oxidase activities in fresh-cut cantaloupe melon[J]. **Food Chemistry and Toxicology**，2001，9(66)：1283-1286.

[6] Golan Goldhirsh，Whitaker. Effect of ascorbic acid，sodium bisulfite and thiol compounds on *Agaricus bisporus* polyphenol oxidase[J]. **Agric Food Chem**，1984，32：1003-1009.

[7] Florence C Richard，Pascale M Goupy，Jacques J Nicolas. Cysteine as an inhibitor of enzymatic browning.1.isolation and characterization of addition compounds formed during oxidation of phenolics by apple polyphenol oxidase[J]. **Agric Food Chem**，1991，5(39)：841-847.

[8] SI Yue-xiu，WANG Zhi-jiang，Daeui Park. Effect of hesperetin on tyrosinase：Inhibition kinetics integrated computational simulation study[J]. **International Journal of Biological Macromolecules**，2011，11：1-6.

[9] JIANG Yue-ming，FU Jia-rui. Inhibition of polyphenol oxidase and the browning control of litchi fruit by glutathione and citric acid[J]. **Food Chemistry**，1998，1(62)：49-52.

[10] JIANG Yue-ming，DUAN Xue-wu，Dary Joyce. Advances in understanding of enzymatic browning in harvested litchi fruit[J]. **Food Chemistry**，2004，88：443-446.

[11] **金定樑，夏文水. 柠檬酸亚锡二钠对鲜切莲藕护色作用的研究**[J]. **食品与机械**，2011，7：129-133.
JIN Ding-liang，XIA Wen-shui. Anti-browning effect of disodium stannous citrate on fresh-cut lotus [J]. **Food and Machinery**，

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

2011, 7: 129-133. (in Chinese)

[12] LIN Zhi-min. Influence of pretreatments and blanching treatments on the yield and color of canned *Agaricus bisporuss* [J]. **Journal of Food Processing Preservation**, 2001(25): 381-388.

[13] Mohapatra D, Bira Z M, Kerry J P. Postharvest hardness and color evolution of white button Agaricus bisporuss (*Agaricus bisporus*)[J]. **Food Engineering and Physical Properties**, 2010, 75(3): 146-152.

[14] Gemma Oms-Oliu, Ingrid Aguiló-Aguayo, Olga Martín-Belloso. Effects of pulsed light treatments on quality and antioxidant properties of fresh-cut Agaricus bisporuss(*Agaricus bisporus*)[J]. **Postharvest Biology and Technology**, 2010, 6(56): 216-222.

[15] Fatih Kalyoncu. Antimicrobial and antioxidant activities of mycelia of 10 wild *Agaricus bisporus* species [J]. **Journal of Medichinal Food**, 2010, 13(2): 1-5.

[16] 潘永贵, 陈维信. 鲜切莲藕组织中多酚氧化酶的分离纯化[J]. 食品与生物技术学报, 2008, 3(2): 26-31.
PAN Yong-gui, CHEN Wei-xin. Isolation and purification of polyphenol oxidase from fresh-cut lotus root [J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**, 2008, 3(2): 26-31. (in Chinese)

[17] Ernst Graf, Katherine L. Empson. Phytic acid A natural antioxidant [J]. **The Journal of Biological Chemistry**, 1987, 262(24): 11647-11650.

[18] B Dave Oomah, Coralie Banchard, Parthiba Balasubramanian. Phytic acid, phytase, minerals and antioxidant activity in Canadian dry bean (PhaseolusvulgarisL.) cultivars[J]. **The Journal of Agric Food Chemistry**, 2008, 56: 11312-11319.

[19] LIU Li-xiang, SUN Yi, Tanguy Laura. Determination of polyphenolic content and antioxidant activity of kudingcha made from Ilex kudingcha C J Tseng[J]. **Food Chemistry**, 2009, 112: 35-41.

[20] 丁连忠. 抗坏血酸衍生物抑制双孢菇的多酚氧化酶[J]. 食品科学, 1991, 2: 22-25.
DING Lian-zhong. Ascorbic acid derivatives as inhibitors of polyphenol oxidase of *Agaricus bisporus* [J]. **Food Scince**, 1991, 2: 22-25. (in Chinese)

[21] 刘军波, 张慜, 任志灿. 莲藕汁防褐变预处理工艺的研究[J]. 食品与生物技术学报, 2010, 11(6): 28-34. (in Chinese)
LIU Jun-bo, ZHANG Min, REN. Study of pretreatment technology against browning in lotus root juice [J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**, 2010, 11(6): 28-34. (in Chinese)

[22] D Vitali, I Vedrina Dragojevic, B Sebecic. Bioaccessibility of Ca, Mg, Mn and Cu from whole grain teabiscuits impact of proteins, phytic acid and polyphenols[J]. **Food Chemistry**, 2008 (110): 62-68.

科　技　信　息

欧盟批准米曲霉产出的 6-植酸酶用作禽畜饲料添加剂

据欧盟网站消息，12 月 22 日欧盟委员会发布(EU) No1265/2012 号法规，批准了米曲霉(*Aspergillus oryzae*)产出的 6-植酸酶(6-phytase)用作禽畜饲料添加剂。

据了解，新法规列出了 6-植酸酶作为饲料添加剂用于家禽、断奶仔猪、母猪的应用条件。新法规将自公布后 20 天生效。

[信息来源]食品伙伴网. 欧盟批准米曲霉产出的 6-植酸酶用作禽畜饲料添加剂 [EB/OL]. (2012-12-25). http://www.foodmate.net/news/yujing/2012/12/220978.html.

科学家研究可食用涂层和辐照技术对冷冻草莓保质期以及霉菌的抑制效果

Peerzada R. Hussain 等研究发现，利用可食用涂层和辐照技术对冷冻草莓进行处理，可延长冷冻草莓的保质期并抑制霉菌的生长。

研究分析了可食用涂层和伽马射线对霉菌生长和储藏品质的影响，草莓的处理过程为：草莓采摘后涂以 0.5%-1.0% 羧甲基纤维素(CMC) 涂层，并以 2.0 kGy 剂量射线进行辐照，处理后冷藏 21 天。

结果显示，单纯利用可食用涂层对于延缓草莓变质和霉菌的生长没有明显效果，然而涂层结合伽马辐照处理效果显着，可有效保持草莓品质，延缓腐败和霉菌生长，使冷藏期达到 18 天。

研究人员表示，可食用涂层和伽马辐照处理法可有效促进草莓远程运输，不再局限于当地市场，给生产商和消费者带来诸多益处。

[信息来源]Peerzada R. Hussain, Mohd A. Dar, Ali M. Wani. Effect of edible coating and gamma irradiation on inhibition of mould growth and quality retention of strawberry during refrigerated storage [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2012, 47(11): 2318-2324.

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net