

微波处理对香菇杀菌及贮藏品质的影响

肖菲¹, 李云飞^{1,2,*}, 王璐怡¹, 刘临洁¹

(1.上海交通大学农业与生物学院食品科学与工程系, 上海 200240;

2.上海交通大学陆伯勋食品安全研究中心, 上海 200240)

摘要:为了研究微波处理对香菇后期贮藏过程中微生物生长及品质变化的影响, 本文以市售原木香菇为对象, 测定微波处理后于两个常用贮藏温度下保存的香菇样品的一系列指标, 包括微生物、颜色、质构、多酚氧化酶活性、总酚、抗氧化性等。结果表明: 合适的微波处理条件(1000W, 1min)结合低温冷藏(4℃)可实现对香菇中微生物生长繁殖的抑制, 同时维持良好的感官与营养特性。

关键词:微波, 香菇, 微生物, 品质

Effect of microwave treatment on quality of mushroom during storage

XIAO Fei¹, LI Yun-fei^{1,2,*}, WANG Lu-yi¹, LIU Lin-jie¹

(1. Department of Food Science, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China;

2. Bor. S. Luh Food Safety Research Center, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: The effects of microwave treatments on the quality changes of commercial mushrooms during storage were studied under two temperatures. A series of indexes, including microorganism, colour, texture, polyphenol oxidase, total phenols, antioxidant activity, of mushrooms after different microwave treatment were investigated. Results showed that combining adequate microwave treatments and low temperature storage could obviously reduce the total microorganisms and inactivate the polyphenol oxidase activity while maintaining relatively good nutritional and sensorial quality.

Key words: microwave; mushroom; microorganism; quality

中图分类号: TS205.9

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2012)13-0327-05

香菇 [*Lentinusedodes* (Berk.) sing] 属伞菌目, 蘑菇科, 香菇属, 也称香蕈、香信、冬菇或花菇。它在我国食用历史悠久, 也是世界第二大食用菌, 营养丰富、味道鲜美, 被视为“菇中之王”^[1]。由于香菇水分含量高, 组织柔嫩, 容易受到微生物的侵染, 同时采后生理活动旺盛, 因此很容易发生褐变和腐败, 在贮藏过程中如何有效保持鲜香菇的品质, 已经受到越来越多的关注^[2]。微波在食品工业中的应用主要集中于微波杀菌和微波干燥。有相关研究探讨了流质食品、果蔬、粮油制品、肉制品、罐头制品的微波工艺及效果。但是, 以食用菌为对象进行微波杀菌的研究很少, 并且主要关注即时的杀菌效果, 未能全面考虑各种感官营养指标, 也没有考虑到微波处理时间以及贮藏条件对食用菌后期贮藏过程微生物生长及品质变化的影响。鉴于此, 本文以市售原木香菇为对象, 探索经过不同时间微波处理后的香菇在两个常用贮藏温度下的微生物、颜色、质构、多酚氧化酶PPO活性、总酚、抗氧化性等指标的变化, 为香菇的贮藏保鲜提供依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

当日采摘、货架上常温保存的新鲜原木香菇 购于上海欧尚超市; 福林酚试剂 Folin and Ciocalteu's phenol reagent, sigma公司; DPPH试剂 阿拉丁; 邻苯二酚、磷酸二氢钠、磷酸氢二钠、过氧化氢、甲醇等试剂 上海国药, 以上均为分析纯。

WLD2S-08型微波设备 南京三乐微波技术发展公司; WSD-S测色色差仪 上海精密科学仪器有限公司; TA-XT plus质构分析仪 英国Stable Micro System公司; DU 800分光光度计 美国Beckman Coulter有限公司; Sunrise酶标仪 瑞士TECAN公司; FW-100高速万能粉碎机 上海金鹏分析仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品的准备 每次称取120g新鲜香菇装入微波保鲜盒中, 微波处理完后立即用塑料袋密封并且浸入冰水中冷却, 待冷却至室温后贮藏于不同的温度。一共有如下6种处理条件, 编号如下: 未经任何处理于15℃贮藏的对照样品(CK1), 经1000W处理0.5min后于15℃贮藏的样品(A1), 经1000W处理1min后于15℃贮藏的样品(B1), 未经任何处理于4℃贮藏的对照样品(CK2), 经1000W处理0.5min后于4℃贮藏的

收稿日期: 2011-10-18 * 通讯联系人

作者简介: 肖菲(1988-), 女, 研究生在读, 研究方向: 食品加工贮藏。

基金项目: 上海交通大学文理交叉项目(11JCZ02)。

样品(A2),经1000W处理1min后于4℃贮藏的样品(B2)。待测香菇样品冷冻干燥48h,用组织粉碎机磨粉,过40目筛后于干燥皿内保存,用于测定多酚氧化酶、总酚、抗氧化性。

1.2.2 微生物的测定 菌落总数的测定采用GB478922010;假单胞菌的测定采用CFC培养基;酵母菌测定采用YGC培养基。后两种菌的测定均采用平板涂布法,25℃培养3d进行菌落计数。

1.2.3 多酚氧化酶(PPO)酶活力的测定^[3] 粗酶液的制备:准确称取0.5g香菇冻干粉置于预冷过的10mL pH7.0的磷酸缓冲液,冰浴搅拌20min后冷冻离心(2~4℃,12000r/min,10min),取上清液作为粗酶液,保存备用。每一个样品重复提取2次。

PPO活性的测定:根据预实验情况,测定条件略作改动。取1.0mL浓度为0.1mol/L邻苯二酚于10mL试管中,加入pH5.0醋酸缓冲液2.0mL混匀,于50℃保温10min后加酶液0.5mL。以醋酸缓冲液代替酶液为空白对照,用分光光度计在436nm处测定反应体系吸光值,每10s读数1次,每一份酶液测定重复3次。酶活力单位以酶液每分钟光密度(OD值)增加0.01为一个多酚氧化酶的酶活力单位U。

1.2.4 颜色和质构的测定 每个处理取6个香菇子实体,测定结果取均值。色差仪校正后直接测定菌盖表面色度值^[4]。参照Tianjia Jiang等^[5]的方法,采用穿刺的方法测定菌盖的硬度,记录最大穿刺力。质构仪的测定参数为:直径4mm圆柱形探头,有圆孔平板底座,测前速度2mm/s,测试速度2mm/s,刺入深度10mm,探针高度25mm,测后速度5mm/s,接触力10g。

1.2.5 总酚含量测定 样品液的提取^[6]:准确称取1g蘑菇冻干粉,用浓度为80%甲醇提取,先加入40mL,水浴提取90min(60℃),后离心过滤(8000r/min,10min),沉淀继续40mL甲醇水浴浸提90min,离心过滤,最后将两次的上清液混合,用80%甲醇定容至100mL。

样品液测定^[7]:将1mL福林酚试剂加入1mL样品提取液中,振荡混匀后放置3min,加入1mL饱和碳酸钠溶液,充分混匀后定容至10mL,置于暗处反应90min后测定吸光度。

1.2.6 抗氧化性测定^[8] 准确称取0.25g蘑菇冻干粉,用25mL无水甲醇静置提取20min,冷冻离心(8000r/min,10min)后取上清液。分别取不同样品溶液1mL,加入4mL 75μmol/L无水乙醇配制的DPPH溶液,用力振荡混匀后置暗室中静置30min,于517nm下测定吸光度。通过公式计算DPPH清除率。

1.2.7 数据处理方法 应用EXCEL进行显著性及相关性分析。用SAS软件将实验测得微生物数据与改良的Gompertz模型拟合得到各生长参数值。

2 结果与分析

2.1 微波处理对香菇贮藏期细菌总数的影响

香菇采摘后生命活动还在延续,其表面微生物的活动会影响保鲜效果。由表1可见,微波处理0.5min和1min均能显著降低香菇的起始菌落总数。在15℃贮藏条件下,香菇的最大菌落数明显随着微波处理时间的延长而减小,尤其是微波时间1min的B1组的最大菌

数比对照组CK1少5个数量级。香菇在冷藏温度4℃条件下的最大菌落数明显小于、延滞时间明显大于相同处理后在15℃贮藏的样品,说明低温能有效抑制香菇中微生物的生长。4℃条件下经0.5min微波处理的A2组的最大菌落数与对照CK2无显著性差异,经1min微波处理的B2组能显著降低最大菌落数,减小最大生长速度。

表1 香菇在贮藏期间菌落总数生长参数比较表

Table 1 Growth parameters of total psychrotrophic counts (TPC) on mushrooms during storage

	初始菌数 (N_0 , log ₁₀ cfu/g)	最大菌数 (N_{max} , log ₁₀ cfu/g)	最大生长速度 (μ_{max} , log ₁₀ (cfu/g)·d ⁻¹)	迟滞时间 (λ , d)	p值
CK1	3.4298 a	11.6061 a	0.8345 b	1.6976b	0.0258
A1	2.5392 b	9.185 b	0.9805 b	1.3541b	0.0165
B1	1.2939 c	6.0003 c	1.4097 b	1.6882b	0.0016
CK2	3.1505 a	4.7147 d	0.8403 b	3.3728a	0.0048
A2	2.9475 b	4.921 d	1.2012 a	3.0243a	0.0011
B2	1.2559 c	4.2601 e	0.6784 c	2.9839a	0.0003

注:所有数值均表示为平均值,同列的不同字母代表有显著差异($p < 0.05$),表2~表6同。

假单胞菌为革兰氏阴性菌,需氧,在自然界分布极为广泛,污染食品后,如环境适宜可在食品表面迅速生长,产生氧化物和粘液,引起食品变质。因为该菌属在低温下也能很好的生长,可以引起冷藏食品的腐败变质。有研究指出,冷藏过程中香菇中的优势腐败菌主要是假单胞菌,其次为酵母菌^[9]。

表2 香菇在贮藏期间假单胞菌生长参数比较表

Table 2 Growth parameters of pseudomonads on mushrooms during storage

	初始菌数 (N_0 , log ₁₀ cfu/g)	最大菌数 (N_{max} , log ₁₀ cfu/g)	最大生长速度 (μ_{max} , log ₁₀ (cfu/g)·d ⁻¹)	迟滞时间 (λ , d)	p值
CK1	3.7481 a	7.2615 b	0.8776 a	2.1006 b	0.0468
A1	2.4369 b	8.2601 a	0.9087 a	0.3239 c	0.0425
B1	1.57 c	5.4997 c	1.3923 a	1.7865 b	0.0125
CK2	3.8245 a	5.2432 c	1.2769 a	5.9059 a	0.0426
A2	2.3205 b	5.0807 d	1.8645 a	5.415 a	0.0574
B2	1.8051 c	4.208 e	1.3866 a	5.0274 a	0.1083

由表2可见,微波处理0.5、1min均能显著降低香菇中假单胞菌的起始菌数。在15℃贮藏条件下,经过较长微波时间的B1组的最大菌数比对照组CK1少2个数量级,而较短微波处理时间的A1组的最大菌数反而高于CK1,可能的原因是短期的微波处理(0.5min)对细胞结构有一定的破坏作用,而起始菌数降低的幅度不大,贮藏温度较高(15℃)因而反而加快了假单胞菌的侵染。香菇在冷藏温度4℃条件下的最大菌落数明显小于、延滞时间明显大于相同处理后在15℃贮藏的样品,说明低温能有效抑制香菇中假单胞菌的生长。4℃条件下不同微波时间的A2和B2组均能显著降低最大菌落数。

由表3可知,微波处理同样能显著降低香菇中酵母菌的起始菌数。在15℃贮藏条件下,经过较长微波时间的B1组的最大菌数比对照组CK1少2个数量级,但是A1组的最大菌数高于CK1,可能的原因是短期的

微波处理(0.5min)对起始菌数降低的幅度不显著,较高的贮藏温度(15℃)反而加快了酵母菌的侵染,这一点也可以从最大生长速度和迟滞时间上反映出来。香菇在冷藏温度4℃条件下的最大菌落数和生长速度明显小于、延滞时间明显大于相同处理后在15℃贮藏的样品,说明低温能有效抑制香菇中酵母菌的生长。4℃条件下的微波处理组A2和B2组均能显著降低酵母菌最大菌落数。

表3 香菇在贮藏期间酵母菌生长参数比较表

Table 3 Growth parameters of yeasts on mushrooms of various groups

	初始菌数 (N_0, \log_{10} cfu/g)	最大菌数 (N_{max}, \log_{10} cfu/g)	最大生长速度 (μ_{max}, \log_{10} (cfu/g)·d ⁻¹)	迟滞时间 (λ, d)	p值
CK1	3.9644 a	6.7235 b	1.3124 b	2.8742 c	0.0899
A1	3.6703 a	7.2786 a	2.5308 a	2.1945 d	0.0689
B1	1.3026 c	5.409 c	1.4087 b	2.3107 c	0.0003
CK2	3.6006 a	4.92 d	0.8947 c	5.9462 a	0.3241
A2	2.798 b	4.8578 e	0.8695 c	5.4325 a	0.0311
B2	1.0528 c	4.0504 f	0.7512 c	4.2404 b	0.0006

总之,在研究了香菇贮藏中的细菌总数及优势菌的生长情况后,从延缓和减少细菌对香菇侵染的角度来说,前期适当微波处理能起到显著的杀菌效果,后期低温贮藏也能有效抑制微生物的生长、降低生长速率和增加延滞时间,因此将前期处理和低温贮藏结合有利于维持子实体缓慢、正常的代谢活动^[10]。

2.2 微波处理后香菇贮藏期pH变化

表4 香菇在贮藏期间pH变化

Table 4 pH of various mushroom groups during storage

时间(d)	CK1	A1	B1	CK2	A2	B2
0	5.43 b	5.96 a	6 a	5.54 b	6.22 a	6.2 a
1	5.3 e	5.27 e	5.5 d	5.7 c	5.92 b	6.13 a
2	5.14 d	5.31 c	5.5 b	5.31 c	5.98 a	5.88 a
3	5.12 d	5.13 d	5.4 c	5.25 c	5.72 b	5.99 a
4	4.53 d	5.35 b	5.35 b	5.24 c	5.91 a	6.01 a
5	4.74 d	5.14 c	5.3 c	5.22 c	5.6 b	5.96 a
6	4.25 e	5.18 d	5.25 c	5.34 b	5.48 b	5.82 a
8	-	-	-	5.2 b	5.26 b	5.75 a
10	-	-	-	5.15 c	5.25 b	5.7 a
12	-	-	-	5.1 c	5.24 b	5.65 a

香菇是典型的低酸性食品,灭菌前pH5.5左右,灭菌后pH有所升高。随着贮藏时间延长,酵母菌、假单胞菌、乳酸菌等微生物代谢产生酸性物质,同时各种生化反应进行使得各组样品pH不断降低,这与陈杰^[11]等得到的研究结果一致。经过微波处理的样品的pH都明显高于同一贮藏条件下的对照样品,这应该这是由于经过微波处理的香菇中微生物的生长活动被抑制。经过相同处理的样品在4℃下贮藏过程中pH始终高于同时期15℃下的pH,也与低温对各种香菇子实体的代谢活动和微生物生长的抑制作用有关。

2.3 微波处理对香菇贮藏期多酚氧化酶(PPO)活性的影响

多酚氧化酶(Polyphenol Oxidase, PPO)是导致香菇子实体褐变的主要酶,催化各种酚类物质氧化成醌

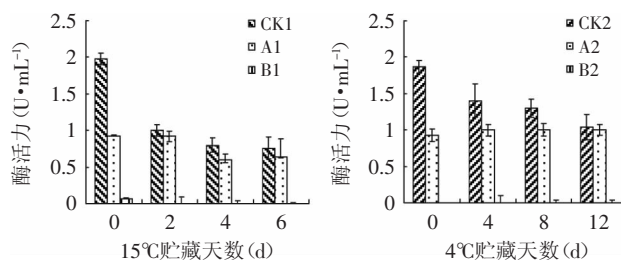


图1 香菇贮藏期间多酚氧化酶(PPO)活性

Fig.1 PPO activity of various mushroom groups during storage

类,再聚合成黑色素,酶活性被抑制有利于保持香菇的颜色、风味、营养^[12]。如图1所示,微波处理对香菇子实体中的多酚氧化酶(PPO)具有明显的钝化作用,尤其是1000W处理1min以后的样品,在贮藏的整个过程中均检测不到活性。0.5min处理的样品中酶活性也始终低于同一贮藏条件下的对照组,但是在整个储藏过程中两者相差不多。另外,本实验发现与预期结果不同的是,PPO活性并未受到低温贮藏条件的显著抑制,4℃下贮藏的香菇PPO活性与15℃的香菇相比始终维持在相对较高的水平。这一点与Murr^[13]的研究结果一致,但是与石启龙^[14]等和朱继英^[15]等在贮藏温度对双孢菇的生理特性研究中得到的结果不同。

2.4 微波处理对香菇颜色的影响

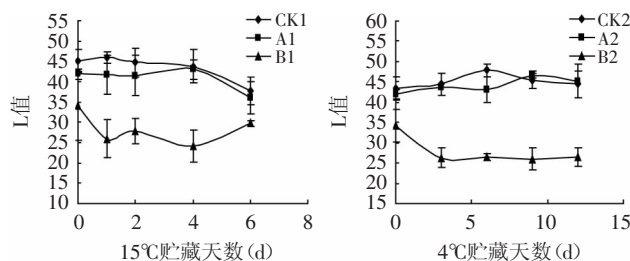


图2 香菇在贮藏期间色度L值变化

Fig.2 L value of various mushroom groups during storage

香菇在处理过程中容易发生酶促和非酶促褐变,可以用色度L值来反映褐变程度。由图2可知,微波处理可以使L值减小,即颜色与未经处理的对照组相比偏暗,尤其是1min处理时间的样品L值明显低于对照组。经过方差分析,在4℃贮藏条件下,L值在不同处理的香菇样品之间差异显著($p < 0.05$),但是随贮藏时间的变化差异不显著,说明在整个贮藏过程中各个样品颜色基本保持稳定。15℃贮藏条件下的样品L值波动较大,在贮藏4d时CK1和A1降低出现拐点,表明亮度下降,褐变加重,这与总酚减少的时间点正好一致,可能是由于贮藏后期,香菇水分散失,膜脂过氧化作用加剧,导致细胞膜破坏,使本来被膜结构隔离的酚类底物与酶类结合、反应,造成酚类含量的减少,褐变明显。

2.5 微波处理对香菇质构的影响

穿孔力反映的是香菇菌盖的硬度变化。图3为在两个不同贮藏温度下的香菇样品的硬度变化,可以看出,虽然长时间微波处理(B1、B2)会使香菇的质地相对变软,但是在整个贮藏过程中硬度较为稳定。而未经微波处理的香菇样品(CK1、CK2)则质构相对较为

不稳定,经过短时微波处理的样品(A1、A2)虽然在贮藏前期硬度高于长时间处理的样品(B1、B2),但是在贮藏中硬度下降较快,贮藏末期与经过长时间处理的样品(B1、B2)基本一致。同一时间点,4℃贮藏的样品的硬度往往高于经过相同处理的15℃保存的样品,说明低温利于保持样品质构特性。

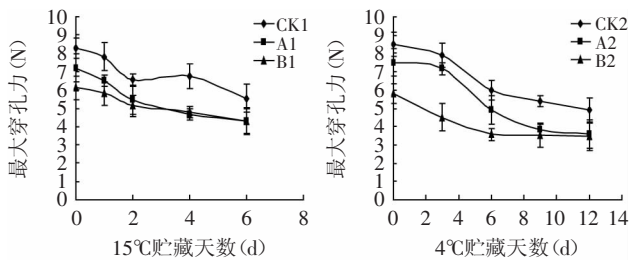


图3 香菇在贮藏期间硬度变化

Fig.3 Hardness of mushroom caps of various groups during storage

从质构稳定性的角度来看,刚处理完未经贮藏时,微波0.5min处理的样品的硬度优于1min处理的样品,但由于贮藏中硬度下降很快,在贮藏后期优势则不明显。较长的微波处理时间虽然会明显降低香菇的硬度,但是结合低温贮藏条件能维持较好的稳定性。

2.6 微波处理对香菇总酚含量的影响

表5 香菇在贮藏期间总酚含量变化
(μg 没食子酸等同量/mg样品)

Table 5 Total polyphenol contents of mushrooms during storage
(μg gallic acid equivalents per mg sample)

贮藏时间(d)	CK1	A1	B1	CK2	A2	B2
0	43.34 b	46.00 a	46.80 a	42.76 b	45.30 a	45.50 a
2	46.53 b	47.27 b	56.50 a	43.00 c	47.20 b	48.00 b
4	42.34 d	47.32 c	55.56 a	46.15 c	50.32 b	55.11 a
6	34.85 d	35.00 d	50.00 b	46.10 c	49.00 b	55.00 a
8	-	-	-	43.00 b	44.00 b	55.50 a
12	-	-	-	43.00 b	43.00 b	52.16 a

香菇中的总酚含量较高,其抗氧化性对人体有益,但加工贮藏中容易氧化损失,并且与储藏过程中蘑菇的褐变有极大关系。因此,总酚含量是检测香菇品质的重要指标之一^[7]。由表5得知,微波处理使总酚含量高于对照组,应该是由于微波作用导致细胞组织内部的一些酚类或者其他还原性物质释放^[6]。在15℃和4℃贮藏条件下,总酚含量都呈现先增加再减小的趋势,这与许多其他实验报道的结果一致,这可能是由于采摘造成的机械损伤引起受伤组织周围的细胞产生更多酚类,增加的酚类物质可参与组织的伤愈和过程,到贮藏后期,双孢蘑菇水分散失,膜脂过氧化作用加剧,细胞膜破坏使本来被膜结构隔离的酚类底物与酶类结合、反应,造成酚类含量的减少^[7],总酚含量减少和褐变加剧的时间基本吻合。同一处理的样品储藏相同时间,4℃条件下样品的总酚含量往往高于15℃总酚含量。因此,微波处理并不会使总酚含量显著降低,低温贮藏则利于维持总酚含量。

2.7 微波处理对香菇的抗氧化性的影响

由表6可知,各组样品的抗氧化能力在贮藏过程

中呈现先增加后减小的趋势。通过相关性分析,样品的抗氧化性与总酚含量呈显著正相关,这与LM Cheung等^[7]和Lillian Barros等^[18]对蘑菇的总酚含量及其抗氧化性研究得到的结果类似。与总酚含量研究的结果类似,微波处理使样品的抗氧化性得到少许提高,同一处理的样品储藏相同时间,4℃条件下样品的抗氧化性往往高于15℃抗氧化性。

表6 不同处理条件下的样品对DPPH的清除效果(%)

Table 6 DPPH clearance rate of mushroom after different microwave treatment (%)

贮藏时间(d)	CK1	A1	B1	CK2	A2	B2
0	41.24 b	44.00 a	45.75 a	41.11 b	46.68 a	45.19 a
2	44.52 b	45.27 b	53.27 a	41.10 c	47.89 b	52.56 a
4	40.45 d	47.34 c	53.55 b	40.51 d	49.63 c	58.88 a
6	32.73 d	33.26 d	48.00 b	42.56 c	50.34 b	57.12 a
8	-	-	-	43.00 b	44.00 b	55.50 a
12	-	-	-	37.19 b	53.91 a	50.90 a

因此,微波处理能较好地保持香菇的抗氧化性,低温贮藏有利于维持整个货架期香菇抗氧化性的保持和稳定。

3 结论

微波处理较长时间(1min)确实会对香菇颜色和质构产生一些不良影响,但是对微生物及多酚氧化酶的抑制作用却非常明显,同时也可以很好地维持香菇子实体的抗氧化性及总酚含量。微波处理较短时间(0.5min)虽然可以维持较好的色泽,并且在贮藏初期可以维持较好的质构特性,但是在贮藏的后期硬度下降较快,甚至降到与微波1min样品相近的水平。另外,微波处理0.5min的样品虽然也可以降低起始菌落数,但是在15℃贮藏条件下,由于温度较高,微生物生长繁殖较快,假单胞菌及酵母菌的最大菌落数及生长速度超过对照样品CK1。因此,微波处理的时间不宜过短,否则无法达到期望的杀菌及灭酶效果。

比较两个常用的贮藏温度15℃和4℃,研究发现4℃低温贮藏虽然对多酚氧化酶的抑制作用不显著,但是在抑制香菇中微生物的繁殖、维持总酚含量、保持抗氧化特性、维持较好的感官品质方面优势明显。

综合考虑,为了抑制微生物对香菇的侵染,同时保持较好的感官营养特性,建议根据产品特性选择适宜的微波处理时间,结合低温贮藏的优势,实现较好的保鲜贮藏效果。

参考文献

- [1] 刘雅嘉,李炜,衣杰荣. 香菇多酚氧化酶酶学特性的研究[J]. 食品工业科技,2009,30(1):183.
- [2] 冯建华,徐新明,李继兰. 中国食用菌香菇采后预处理及气调保鲜技术研究[J]. 中国食用菌,2010(2):51-53.
- [3] 邵伟,乐超银,黄艺. 香菇多酚氧化酶酶学特性初步研究[J]. 食用菌,2007(2):5-7.
- [4] 刘吟,李成华,吴关威. 双孢蘑菇子实体采后褐变及相关生化变化研究[J]. 中国食用菌,2010,29(3):48-51.
- [5] Tianjia J, Muhammad M J, Zhenhui J. Effects of pre-treatment,

freezing and frozen storage on the texture of *Boletus edulis* (Bull. Fr.) mushrooms[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2010, 56: 209-215.

[6] Joy D, Boxin O, Robert B. Quantification of polyphenols and ergothioneine in cultivated mushrooms and correlation to total antioxidant capacity[J]. *Food Chem*, 2007, 105: 727-735.

[7] Cheung L M, Cheung P, Vincent E C. Antioxidant activity and total phenolics of edible mushroom extracts[J]. *Food Chem*, 2003, 81: 249-255.

[8] 连喜军, 王亮, 王吹. DPPH法研究不同品种甘薯抗性淀粉抗氧化性[J]. *粮食与油脂*, 2009(6): 26.

[9] 姜天甲. 主要食用菌采收后品质劣变机理及调控技术研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2010.

[10] 杭锋, 陈卫, 龚广予, 等. 微波杀菌机理与生物学效应[J]. *食品工业科技*, 2009, 30(1): 333-337.

[11] 陈杰, 刘晓丹, 邓伯祥. 不同温度下香菇品质动力学及货架期的研究[J]. *安徽农业科学*, 2009, 37(5): 2243-2245.

[12] 赵天瑞, 樊建, 赵吉顺. 冻结工艺对香菇PPO和POD活性的影响[J]. *昆明理工大学学报*, 2010, 35(5): 79-82.

[13] Murr DP, Morris LL. Effect of storage temperature on Postharvest change in mushrooms[J]. *Journal of the American Society for Horticultural*, 1975, 100(1): 16-19.

[14] 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): 165-168.

[15] 朱继英, 王相友, 许英超. 贮藏温度对双孢蘑菇采收后生理和品质的影响[J]. *农业机械学报*, 2005, 36(1): 92-94.

[16] Hyun K J, Chung H W, Hong S S. Effect of steam treatment on soluble phenolic content and antioxidant activity of the chagamushroom[J]. *Food Chemistry*, 2009(3): 619-621.

[17] 刘吟. 双孢蘑菇采收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.

[18] Barros L, Ferreira M, Queiros B. Total phenols, ascorbic acid, carotene and lycopene in Portuguese wild edible mushrooms and their antioxidant activities[J]. *Food Chemistry*, 2007, 81: 413-419.

(上接第282页)

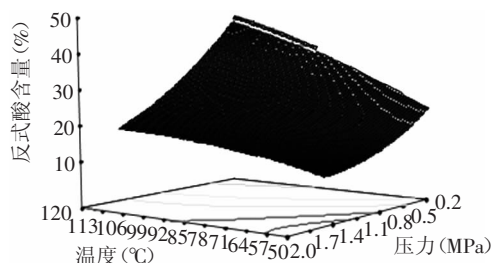


图7 温度和压力的交互作用

Fig.7 The interaction of temperature and pressure

图5~图7是通过响应面得出的各个因素之间的交互作用图。响应面分析模型给出了模型推测的反式酸的最小含量为10.59%。根据编码值的对应关系进行解码,得到相对应反应条件为:温度为52℃,压力为1.9MPa,催化剂用量为170mg/kg。与先前研究相比^[12-13],本研究得到的氢化产品中反式酸含量仅是先前报道的氢化产品的1/2。

3 结论

本实验研究了影响葵花油氢化反应低反式酸含量的三种单因素:温度、压力、催化剂用量。并通过响应面实验对实验方案进行优化验证,得到的结论如下:反式酸含量回归方程的回归分析和验证实验表明此方法合理可行,从而得到低反式酸氢化葵花油氢化反应的最佳条件为:反应温度52℃,反应压力1.9MPa,催化剂用量170mg/kg,此时的反式酸含量10.59%。

参考文献

[1] Draguez de Hault E, Demoulin A. Partial hydrogenation of polyunsaturated fatty materials[J]. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 1984, 61(2): 195-200.

[2] 陈凌霄, 刘寿长. 不饱和油脂加氢制硬化油催化剂的研究(1)—制备条件对催化剂活性的影响[J]. *中国油脂*, 2002, 27(3):

43-46.

[3] Thomson AI, Winterbottom JM. Silica-supported alloy catalysts for triglyceride hydrogenation; The preparation and properties of Pd-Ag and Pd-Ni systems[J]. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 1987, 37: 257-270.

[4] 刘多敏, 翟冬官, 叶霞赏. 菜籽油经选择性氢化制食用氢化油[J]. *中国油脂*, 1995, 20(3): 6-9.

[5] Hsu N, Dlosady LL, Rubin LJ. Catalytic behavior of palladium in the hydrogenation of edible oils[J]. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 1988, 65(3): 349-356.

[6] 胡涛, 周伟, 金叶玲, 等. 镍基催化剂在食用油脂氢化中性能研究[J]. *粮食与油脂*, 2005(4): 22-24.

[7] 胡元贞, 张凤英, 刘晓春. 铜催化剂在猪油选择性氢化中的应用[J]. *日用化学工业*, 1991(3): 1-4.

[8] Hu FB, Stampfer MJ, Manson JE, et al. Dietary fat intake and the risk of coronary heart disease in women[J]. *The New England Journal of Medicine*, 1997, 337(21): 1491-1499.

[9] Rylander PN. Hydrogenation of natural oils with platinum metal group catalysts[J]. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 1970, 47(12): 482-486.

[10] Szukaiska E, Drozdowski B. Selective hydrogenation of rapeseed oils with copper-chromite catalyst; Influence of erucic acid[J]. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 1982, 59(3): 134-139.

[11] Fernández MB, Sánchez MJF, Tonetto GM, et al. Hydrogenation of sunflower oil over different palladium supported catalysts; activity and selectivity[J]. *Chemical Engineering Journal*, 2009, 155(3): 941-949.

[12] 范恩荣. 植物油氢化新的催化剂[J]. *中国油脂*, 1997, 22(2): 23-25.

[13] 丘彦明, 徐贤伦, 高兰云, 等. 负载型贵金属钨-氧化铝催化剂用于大豆油选择氢化[J]. *中国油脂*, 2002, 27(1): 73-75.