

姚芳,刘靖,褚洁明,等. 无硝肉脯发色技术[J]. 江苏农业科学,2014,42(9):226-231.

无硝肉脯发色技术

姚芳¹, 刘靖¹, 褚洁明², 张静¹, 赵瑞靖²

(1. 江苏农牧科技职业学院/江苏省畜产品深加工及安全技术工程研究开发中心, 江苏泰州 225300;

2. 靖江双鱼食品有限公司, 江苏靖江 214500)

摘要:采用蔗糖水解液与肉脯中蛋白质发生美拉德反应的产物替代亚硝酸钠在肉脯中发色,并应用响应面分析法对发色工艺进行优化,以期在无硝肉脯的生产提供指导。选用糖水比、水解温度、水解时间和蔗糖水解液添加量 4 个反应因素,以发色效果红度 a^* 为响应指标,在单因素工艺试验的基础上,通过 4 因素 3 水平的 Box-Behnken 响应面分析法优化无硝肉脯的发色工艺。结果表明,最佳的无硝肉脯发色工艺为糖水比 2.67 g : 1 mL,水解温度 179 ℃,水解时间 46 min,蔗糖水解液添加量 15.3 mg/g,在此条件下,肉脯的红度 a^* 为 17.84,与模型的预测值 17.85 基本一致。

关键词:肉脯;无硝;发色;响应面;水解

中图分类号: TS251.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2014)09-0226-06

猪肉脯是猪肉经切片、调味、腌制、摊筛、烘干、烤制等工艺制成的干熟、薄片形的一种肉制品,是我国的传统美食^[1],其色泽棕红,具有蛋白质含量高、芳香浓郁、余味无穷等特点。肉制品的表观色泽是影响消费者购买行为的主要因素^[2],我国长期以来一直使用亚硝酸钠作为肉脯制品的发色剂,但亚硝酸钠有严重的毒副作用,它能使血红蛋白转变为高铁血红蛋白而失去输氧能力,而且亚硝酸钠长期积蓄在体内很易形

成强致癌物亚硝胺。世界各国对食品中亚硝酸盐的安全问题非常重视,在没有理想的替代品之前,一直将其用量限制在最低水平。GB 2760—2011《食品添加剂使用标准》规定熟肉干制品不得添加亚硝酸盐,这给肉脯行业的发展带来了极大的挑战,因此研究一种新型干肉制品无硝发色技术以替代亚硝酸盐发色技术已成为肉脯行业亟待解决的难题。目前已有的肉制品无硝发色技术有一氧化碳发色^[3]、亚硝基血红蛋白发色^[4]、组氨酸发色^[5]、红曲色素发色^[6]、乙基麦芽酚和柠檬酸铁发色^[7]、番茄红素发色^[8]等,存在不适用于肉脯制品或者色泽不稳定、高温易分解、风味不好等问题。Kato 等研究发现,在蛋白质变性温度下加热含蛋白质和糖的溶液,可发生美拉德反应,并且所形成的聚合物具有良好的色泽、热稳定性、乳化性和抗氧化性^[9-10]。本研究利用蔗糖水解液与肉脯中蛋白质发生美拉德反应的产物替代亚硝酸钠在肉脯中发色,以提高肉脯的色泽和风味,避免亚硝胺致癌物质的产生,从而

收稿日期:2013-11-04

基金项目:江苏省高校科研成果产业化推进项目(编号:JHB2011-81);江苏省“青蓝工程”人才基金(编号:苏教师[2012]39号);江苏农牧科技职业学院院级重点项目(编号:ZD1206)。

作者简介:姚芳(1980—),女,四川仪陇人,硕士,讲师,研究方向为食品加工与贮藏。E-mail:46268809@qq.com。

通信作者:刘靖,博士,教授,研究方向为食品加工与贮藏。E-mail:460318854@qq.com。

[3]赵立春,邱明华,邱德文. 超临界 CO₂ 萃取苗药大果木姜子果实挥发油化学成分研究[J]. 环球中医药,2009,6(6):442-444.

[4]李天祥,朱静,曾祥钦,等. 分子蒸馏分离超临界 CO₂ 萃取的米槁精油及其成分分析[J]. 精细化工,2007,24(10):984-987.

[5]武孔云,徐必学,梁光义,等. 不同贮藏时间对米槁药材有效成分影响的比较研究[J]. 时珍国医国药,2012,23(9):2323-2325.

[6]孙学惠,隋艳华,邱德文. 大果木姜子油对猫急性实验性心肌梗死的保护作用[J]. 中国药学杂志,1995,30(6):341-344.

[7]桑维钧,李小霞,吴文辉,等. 几种杀菌剂对米槁炭疽病菌的室内抑制试验[J]. 青岛农业大学学报:自然科学版,2007,24(1):12-13,16.

[8]江兴龙,潘俊锋,何茂琦. 贵州米槁的栽培与病虫害防治技术[J]. 林业调查规划,2005,30(4):104-108.

[9]曾令祥,袁洁,李德友,等. 米槁病虫害种类调查及综合防治[J]. 贵州农业科学,2006,34(1):78-79.

[10]张小波,周涛,郭兰萍,等. 苗药大果木姜子挥发油成分变化及其地理分布[J]. 生态学报,2011,31(18):5299-5306.

[11]窦全琴,仲磊,张敏,等. 榉树苗木质量分级研究[J]. 江苏林业科技,2009,36(1):1-4,14.

[12]李国雷,刘勇,祝燕,等. 国外苗木质量研究进展[J]. 世界林业研究,2011,24(2):27-35.

[13]陈晓波,王继志,叶燕萍,等. 蒙古栎苗木分级标准的研究[J]. 北华大学学报:自然科学版,2002,3(3):251-254.

[14]王俊,胡庭兴,冯德宾,等. 凉山州主要造林树种苗木分级标准研究[J]. 四川农业大学学报,2007,25(4):498-501.

[15]刘勇. 我国苗木培育理论与技术进展[J]. 世界林业研究,2000,13(5):43-49.

[16]杨斌,周凤林,史富强,等. 铁力木苗木分级研究[J]. 西北林学院学报,2006,21(1):85-89.

[17]鲁敏,姜凤岐,宋轩. 容器苗质量评定指标的研究[J]. 应用生态学报,2002,13(6):763-765.

[18]唐小燕,袁位高,沈爱华,等. 闽楠容器苗评价指标及分级标准研究[J]. 浙江林业科技,2011,31(6):39-44.

[19]方炜. 福建省木荷苗木标准的研究[J]. 福建林业科技,1998,25(2):78-81.

[20]毕波,刘云彩,周筑,等. 连香树和榉树容器苗木苗木分级标准研究[J]. 西南林学院学报,2010,30(2):16-20,24.

为无硝肉脯的生产提供技术指导。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

IV 号肉(猪后腿瘦肉)购于双汇集团,含蛋白质 21% ~ 22%、脂肪 3% ~ 4%、水分 74% ~ 75%;食盐、蔗糖、味精、白胡椒粉,购自当地市场;鱼露,威海三源水产有限公司;食品级复合磷酸盐(符合 Q/320308XAB05—2001《复合磷酸钾-钠》),徐州海成食品添加剂有限公司;蛋白酶(分析纯),美仑生物制品有限公司。

1.2 仪器与设备

EM-2 片肉机,厦门惟一食品机械有限公司;HWY50 拌料机,上海美格食品机械厂;RLY30 热风炉,常州盛得利干燥设备有限公司;输送式远红外线烘炉,香港永辉电路板设备有限公司;QZ204A 切片机,江阴永联集团公司化工机械设备厂;DZ-500/2S 双室真空包装机,苏州苏美特包装机械厂;AL204 型电子分析天平,上海梅特勒仪器厂;C2191B 型电磁炉,格兰仕集团;WSC-S 数显测色色差仪,上海精密科学仪器有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 无硝肉脯加工工艺流程 无硝肉脯的加工工艺主要有以下步骤:

蔗糖 + 水 → 加热水解 → 蔗糖水解液 辅料
↓ ↓
原料肉验收 → 机械嫩化 → 切片 → 复合蛋白酶水解 → 混合腌制
→ 真空滚揉 → 摊筛 → 脱水干燥 → 红外烤制 → 压平、切片 → 冷却、包装和贮藏。

1.3.2 操作要点 蔗糖水解:先将蔗糖与水按一定比例配成溶液,在 150 ~ 175 ℃ 下缓慢水解约 45 min,再加入与蔗糖等质量的水搅拌均匀,便制成蔗糖水解液。

嫩化切片:将处理好的肉块通过机械嫩化后,在片肉机中切成 2 ~ 3 mm 的薄片肉。

复合蛋白酶水解:添加 0.35% 复合蛋白酶(含 40% 菠萝蛋白酶、35% 木瓜蛋白酶和 25% 风味蛋白酶),在 20 ℃ 下水解处理薄片肉 5 min。

混合腌制:添加 1.5% 左右的蔗糖水解液和食盐、鸡蛋、鱼露等辅料进行混合腌制。

真空滚揉:低温真空滚揉 40 min,拌料至肉片发黏,倒入容器内静置 20 min,使各种辅料充分渗透到组织中。

摊筛:将肉片摊在刷好油的竹筛上成型,要求表面平整光滑。

脱水干燥:将竹筛放入分区控温的烘炉中,按 45 ~ 85 ℃ 程序升温,脱水烘干 5 h,使肉脯半成品含水量 < 30%。

红外烤制:将半成品放在远红外分段温控烤炉的不锈钢丝网带输送带上,通过控温仪控制 3 段烤炉的温度为 180、240、280 ℃,每段烤制 40 s。成品颜色应呈棕红色,有光泽,含水量 < 20%。

1.3.3 色度测定 将色差仪预热 30 min,先用标准黑筒校零,再用标准白板校准,然后将色度测定仪 CIE-LAB 的探测器测量口垂直置于样品上,测定肉脯的亮度(L^*)、红度(a^*)、黄度(b^*),每组随机测 10 个平行值,去极值后取平均

值。 L^* 值表示亮度值,又称白度值, L^* 值越大表明亮度越大,说明肉光泽度越好; a^* 值又称红度值,表示有色物质的红绿偏向,正值越大则偏向红色的程度越大,说明肉颜色越红,负值绝对值越大则偏向绿色的程度越大; b^* 值又称黄度值,表示有色物质的黄蓝偏向,正值越大则偏向黄色的程度越大,说明肉越不新鲜,负值绝对值越大则偏向蓝色的程度越大^[11-12]。

1.3.4 颜色感官评定 由 10 个经验丰富的食品感官评定员组成评定小组,在感官评定室内对不同试验组猪肉脯的色泽进行感官评分,去极值后取平均值,评定标准见表 1。

表 1 猪肉脯颜色感官评定标准

感官评分	颜色变化
1.0 ~ 2.0	呈灰黄色,表面无光泽
2.1 ~ 3.0	呈黄色,表面光泽度差
3.1 ~ 4.0	呈棕黄色,表面较光泽
4.1 ~ 5.0	呈暗红色,表面无光泽
5.1 ~ 6.0	呈淡红色,表面光泽
6.1 ~ 7.0	呈玫瑰红色,表面光泽度差
7.1 ~ 8.0	呈玫瑰红色,表面光泽
8.1 ~ 9.0	呈棕红色,表面光泽度较差
9.1 ~ 10.0	呈明亮的棕红色

1.3.5 无硝肉脯发色工艺的单因素设定 单因素试验设计分别以感官评分、 L^* 值、 a^* 值、 b^* 值作为评价指标,研究不同糖水比、水解温度、水解时间和蔗糖水解液添加量对无硝肉脯发色效果的影响,每组试验设 3 次重复。

1.3.6 响应面试验设计 根据单因素试验结果,采用响应面设计试验,运用 Box-Behnken 中心组合试验设计原理^[13],重点对肉脯中表观色泽相关性最强的 a^* 值进行分析研究^[14],进行糖水比、水解温度、水解时间和蔗糖水解液添加量的 4 因素 3 水平的响应面试验,试验设计见表 2。

1.3.7 数据分析 采用 Design-Expert 8.05b 分析软件对数据进行 2 次多元回归拟合,利用 F 检验对数据进行方差分析以评价模型的统计学意义。

表 2 Box-Behnken 试验因素水平表

水平	因素			
	X_1 :糖水比 (g : mL)	X_2 :水解 温度(℃)	X_3 :水解时间 (min)	X_4 :蔗糖水解 液添加量(mg/g)
-1	2.5 : 1	175	42	13
0	2.7 : 1	180	45	15
1	2.9 : 1	185	48	17

2 结果与分析

2.1 糖水比对无硝肉脯发色效果的影响

将蔗糖与水按一定比例配成溶液,在 175 ℃ 下缓慢水解 45 min,加入与蔗糖等质量的水搅拌均匀,制成蔗糖水解液,再添加 15 mg/g 的蔗糖水解液以加工无硝发色肉脯,并研究不同糖水比对无硝肉脯发色效果的影响,试验结果见图 1。由图 1 可见,随着糖水比例的增大, L^* 值和感官评分先缓慢增加又迅速下降, b^* 值的变化较小。研究发现,糖水比较小时,蔗糖水解液浓度低,无硝肉脯红色较浅;糖水比较高时,色度值 L^* 和 a^* 较小,感官评分较低,可能是蔗糖在高

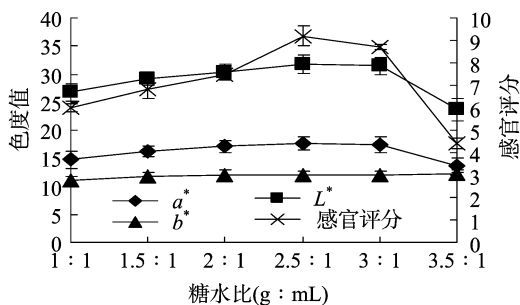


图1 不同糖水比对无硝肉脯发色效果的影响

温下易发生焦糖化反应,使得颜色变黑,色泽变暗。因此可以看出,适宜的糖水比为(2.5~3) g : 1 mL。

2.2 水解温度对无硝肉脯发色效果的影响

将蔗糖与水按 2.5 g : 1 mL 的比例配成溶液,在一定温度下缓慢水解 45 min,加入与蔗糖等质量的水搅拌均匀,制成蔗糖水解液,再添加 15 mg/g 的蔗糖水解液加工无硝发色肉脯,研究不同水解温度对无硝肉脯发色效果的影响。由图 2 可以看出,随着水解温度的增大, L^* 值、 a^* 值和感官评分都呈先增加后降低的趋势, b^* 值的变化较小, a^* 值和感官评分的变化幅度较大。由结果还可以看出,蔗糖水解温度低于 155 °C 时,对无硝肉脯的发色效果影响很小;高于 185 °C 时,蔗糖在高温下易发生焦糖化反应,且颜色发黑,色泽变暗。因此综合试验结果,适宜的水解温度为 175 ~ 185 °C。

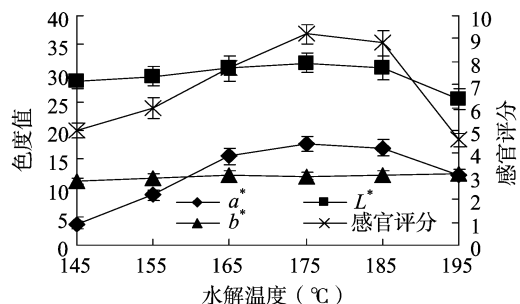


图2 不同水解温度对无硝肉脯发色效果的影响

2.3 水解时间对无硝肉脯发色效果的影响

将蔗糖与水按 2.5 g : 1 mL 的比例配成溶液,在 175 °C 下缓慢水解一定时间,加入与蔗糖等质量的水搅拌均匀,制成蔗糖水解液。添加 15 mg/g 的蔗糖水解液加工无硝发色肉脯,研究不同水解时间对无硝肉脯发色效果的影响,结果见图 3。由图 3 可见,随着水解时间的延长, L^* 值、 a^* 值和感官评分都呈先缓慢增加后下降的趋势, b^* 值的变化较小, a^* 值和感官评分的变化幅度较大。此外还可以看出,蔗糖水解时间太短,无硝肉脯的发色效果较弱,达不到理想的颜色;水解时间太长,蔗糖在高温下易发生焦糖化反应,使得颜色变深,色泽变暗。因此综合试验结果,适宜的水解时间为 45 min。

2.4 蔗糖水解液添加量对无硝肉脯发色效果的影响

将蔗糖与水按 2.5 g : 1 mL 的比例配成溶液,在 175 °C 下缓慢水解 45 min,加入与蔗糖等质量的水搅拌均匀,制成蔗糖水解液。添加不同质量分数的蔗糖水解液加工无硝发色肉脯,研究不同蔗糖水解液添加量对无硝肉脯发色效果的影响。由图 4 可见,随着蔗糖水解液添加量的增加, L^* 值、 a^* 值和感官评分都呈先增大后下降的趋势, b^* 值的变化较小, a^* 值和

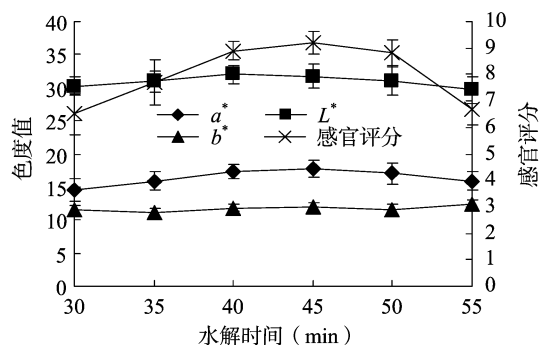


图3 不同水解时间对无硝肉脯发色效果的影响

感官评分的变化幅度较大。研究结果还表明,蔗糖水解液添加量低于 15 mg/g 时,无硝肉脯的色泽较明亮,红度逐渐增大;添加量高于 15 mg/g 时,无硝肉脯的色泽逐渐变暗,红度变深,可能是由于高温下蛋白质与过量的蔗糖水解液发生过度的美拉德反应所造成的,并且蔗糖添加量过多,会导致肉脯口感过甜。因此综合考虑,适宜的蔗糖水解液添加量为 15 mg/g。

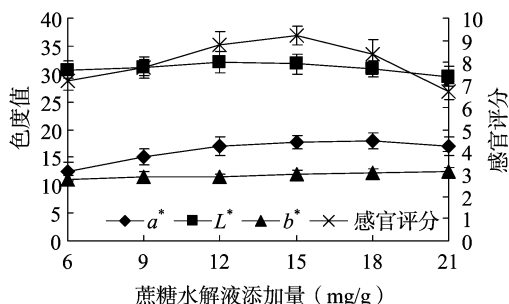


图4 不同蔗糖水解液添加量对无硝肉脯发色效果的影响

2.5 无硝肉脯发色工艺的响应面试验分析

2.5.1 响应面分析方案与结果 无硝肉脯发色条件的响应面分析根据 Box - Behnken 设计进行 29 组试验,其中 5 组为中心点重复试验,结果见表 3,回归模型的方差分析见表 4。

利用 Design Expert 8.05b 软件对表 3 试验数据进行多元回归拟合,得到对无硝肉脯发色效果影响显著的 a^* 值与所选 4 个因素的 2 次多项回归方程: $y = -297.02 + 10.41042x_1 + 3.19567x_2 + 0.5925x_3 + 2.70625x_4 - 0.01x_1x_2 + 1.24553 \times 10^{-14}x_1x_3 + 5.48173 \times 10^{-14}x_1x_4 - 1.66667 \times 10^{-4}x_2x_3 + 0.02x_2x_4 + 4.14021 \times 10^{-15}x_3x_4 - 1.61458x_1^2 - 8.93333 \times 10^{-3}x_2^2 - 6.2037 \times 10^{-3}x_3^2 - 2.05208x_4^2$ 。

由表 4 的方差分析结果可知,模型的 F 值为 340.20, P 值小于 0.0001,显著性检验表明,2 次回归模型对 a^* 值具有高度显著影响。试验中 1 次项 x_1 、 x_2 、 x_4 , 2 次项 x_1^2 、 x_2^2 、 x_3^2 、 x_4^2 对 a^* 值的影响极显著,1 次项 x_3 和交互项 x_2x_4 对 a^* 值的影响显著,说明各具体试验因素对响应值的影响不是简单的线性关系,糖水比、水解温度和蔗糖水解液添加量对肉脯 a^* 值有极显著的影响,水解时间对肉脯的 a^* 值有显著影响,水解温度与蔗糖水解液添加量这 2 个因素之间的交互作用对肉脯 a^* 值有显著影响。从模型的失拟性方差分析可以看出,失拟项不显著 ($P = 0.4692 > 0.05$),表明该模型是稳定的,残差均由随机误差引起。

由统计学计算得出,模型的 R^2 值为 0.9971,说明模型有很好的精密性;模型校正确定系数 $R_{adj}^2 = 0.9941$,说明该模型

表 3 Box - Bchnken 试验设计及结果

编号	x_1	x_2	x_3	x_4	a^* 值
1	0	1	-1	0	17.42
2	0	0	1	-1	17.68
3	1	1	0	0	17.39
4	0	0	-1	1	17.71
5	1	-1	0	0	17.65
6	0	0	1	1	17.73
7	0	1	1	0	17.44
8	-1	1	0	0	17.46
9	0	-1	0	-1	17.63
10	-1	0	1	0	17.74
11	0	0	0	0	17.83
12	0	0	-1	-1	17.66
13	0	-1	0	1	17.67
14	-1	0	0	1	17.73
15	0	0	0	0	17.82
16	1	0	1	0	17.70
17	-1	-1	0	0	17.68
18	0	-1	-1	0	17.66
19	0	0	0	0	17.82
20	0	1	0	-1	17.33
21	1	0	0	1	17.69
22	0	-1	1	0	17.69
23	1	0	0	-1	17.64
24	1	0	-1	0	17.67
25	0	1	0	1	17.45
26	-1	0	-1	0	17.71
27	-1	0	0	-1	17.68
28	0	0	0	0	17.84
29	0	0	0	0	17.83

能解释 99.41% 响应值的变化,仅有总变异的 0.59% 不能用此模型来解释,说明该模型与实际试验的拟合程度好,用该模型对无硝肉脯发色工艺条件进行优化是合适的; $R^2_{\text{Pred}}=0.986\ 2$,说明该模型预测性良好,能很好地预测影响无硝肉脯发色效

果的各因素对红度 a^* 值的影响。

2.5.2 响应面因素间的交互作用分析 根据回归模型,将任意 2 个因素固定在零水平,可以得到体现另外 2 个因素及其交互作用影响的响应面曲线图及对应的等高线图,详见图 5。

曲面图的形状可反映出单因素对响应值的影响,曲面越陡峭,影响越显著,拟合的响应面和等高线图比较直观地反映了各因素间的交互作用^[15]。由图 5 可知,各因素对无硝肉脯发色效果红度 a^* 值的影响大小为水解温度 > 蔗糖水解液添加量 > 糖水比 > 水解时间,与表 4 中 F 值分析的结果一致;水解温度、蔗糖水解液添加量、糖水比的过高或过低及水解时间的过长或过短,都不能使无硝肉脯发色的红度 a^* 值达到最大,只有它们取某个适中值时,才可使红度 a^* 值达到最大;沿水解温度轴线的等高线相对密集,表明水解温度对红度 a^* 值的影响最大;图 5 - a、5 - d 和 5 - e 中等高线密度分布不均匀,呈椭圆形,说明水解温度与糖水比、水解温度与水解时间、水解温度与蔗糖水解液添加量的交互作用较强,影响较显著。

2.6 验证试验

根据 Box - Behnken 试验所得出的无硝肉脯发色工艺参数结果和 2 次多项回归方程,利用 Design Expert 8.05b 软件中的 Optimization 分析得出优化结果,即获得较高红度 a^* 值的工艺参数为糖水比 2.67 g : 1 mL,水解温度 178.66 ℃,水解时间 45.36 min,蔗糖水解液添加量 15.3 mg/g,无硝肉脯发色效果红度 a^* 值预测可达到 17.85。考虑到实际操作的便利,将发色工艺参数修正为糖水比 2.67 g : 1 mL,水解温度 179 ℃,水解时间 46 min,蔗糖水解液添加量 15.3 mg/g。采用修正后的工艺参数进行 3 次平行验证试验,结果测得红度 a^* 值为 17.84,可见该模型能较好地预测蔗糖水解液与肉脯中蛋白质发生美拉德反应的产物替代亚硝酸钠在肉脯中发色的效果,具有一定的实用价值。

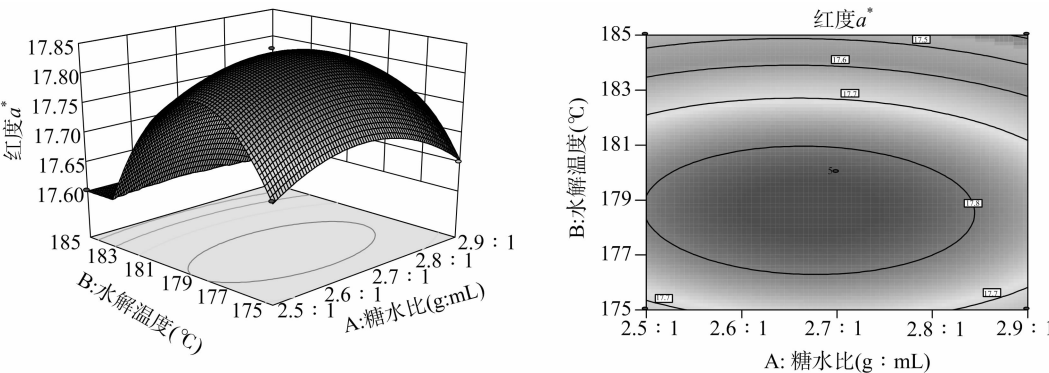
3 结论

本试验在单因素试验基础上,以影响无硝肉脯发色效果最显著的红度 a^* 值为响应指标,通过 4 因素 3 水平的响应面

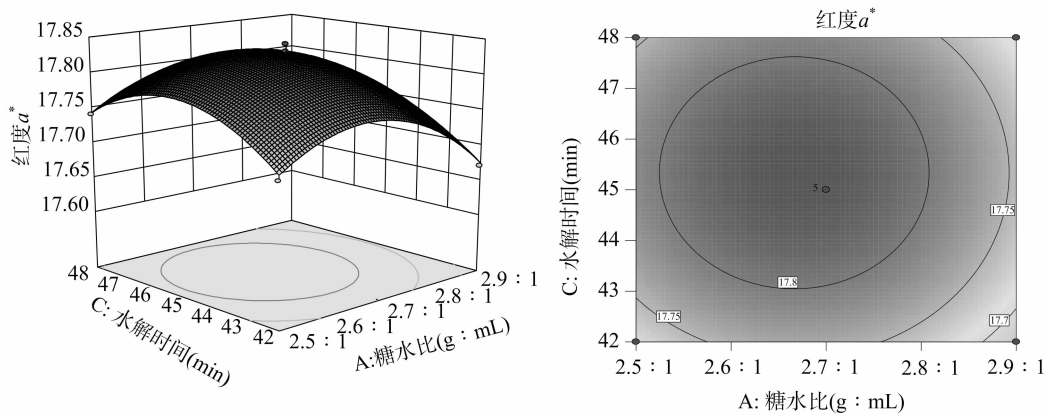
表 4 回归模型方差分析

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	0.54	14	0.039	340.20	<0.000 1	**
x_1	5.633×10^{-3}	1	5.633×10^{-3}	49.55	<0.000 1	**
x_2	0.19	1	0.19	1 627.30	<0.000 1	**
x_3	1.875×10^{-3}	1	1.875×10^{-3}	16.49	0.001 2	*
x_4	0.011	1	0.011	94.99	<0.000 1	**
x_1x_2	4×10^{-4}	1	4×10^{-4}	3.52	0.081 7	
x_1x_3	0.000	1	0.000	0.000	1.000 0	
x_1x_4	0.000	1	0.000	0.000	1.000 0	
x_2x_3	2.5×10^{-5}	1	2.5×10^{-5}	0.22	0.646 3	
x_2x_4	1.6×10^{-3}	1	1.6×10^{-3}	14.07	0.002 1	*
x_3x_4	0.000	1	0.000	0.000	1.000 0	
x_1^2	0.027	1	0.027	237.97	<0.000 1	**
x_2^2	0.32	1	0.32	2 845.72	<0.000 1	**
x_3^2	0.020	1	0.020	177.86	<0.000 1	**
x_4^2	0.044	1	0.044	384.41	<0.000 1	**
残差	1.592×10^{-3}	14	1.137×10^{-4}			
失拟项	1.192×10^{-3}	10	1.192×10^{-4}	1.19	0.469 2	
纯误差	4.000×10^{-4}	4	1.000×10^{-4}			
总和	0.54	28		$R^2=0.997\ 1$	$R^2_{\text{Adj}}=0.994\ 1$	$R^2_{\text{Pred}}=0.986\ 2$

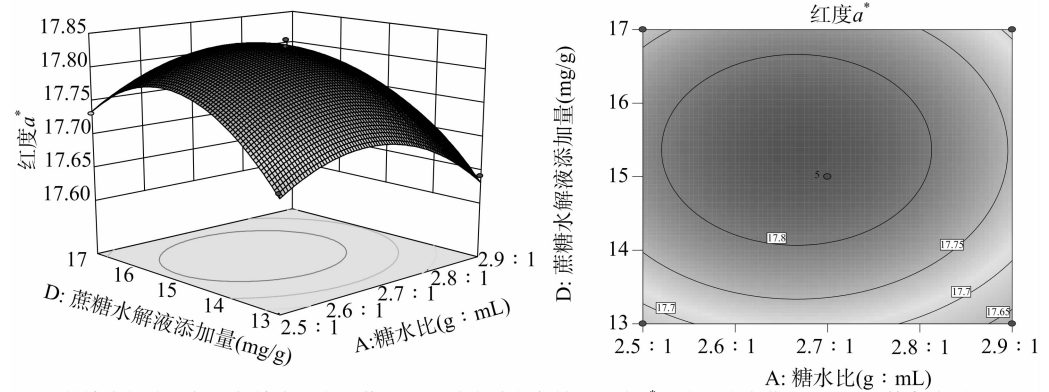
注:“**”“*”分别表示具有极显著($P<0.01$)、显著($P<0.05$)影响。



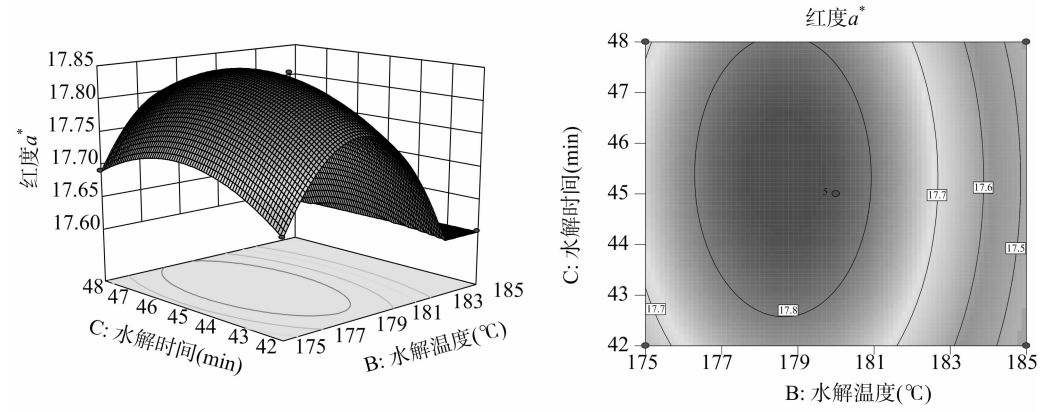
a.水解温度与糖水比交互作用对无硝肉脯发色效果红度 a^* 影响的响应曲面(左图)及等高线(右图)



b.水解时间与糖水比交互作用对无硝肉脯发色效果红度 a^* 影响的响应曲面(左图)及等高线(右图)

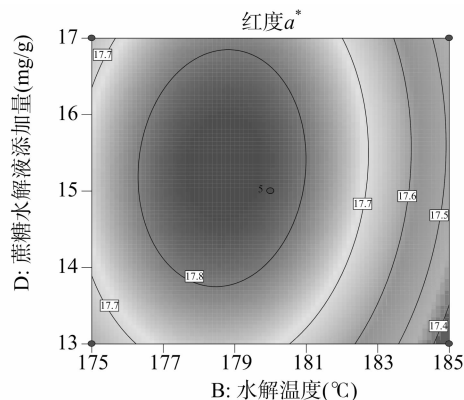
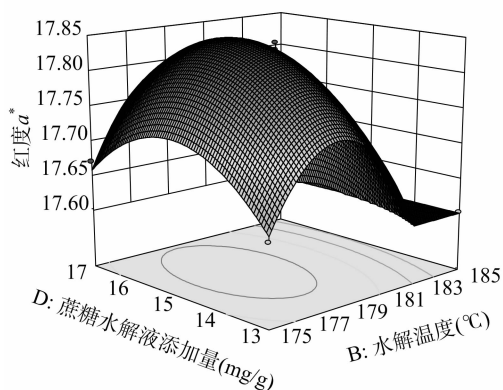


c.蔗糖水解液添加量与糖水比交互作用对无硝肉脯发色效果红度 a^* 影响的响应曲面(左图)及等高线(右图)

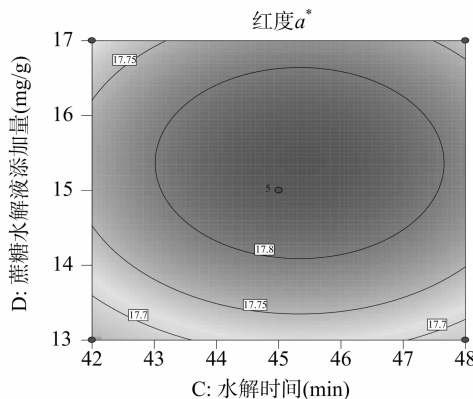
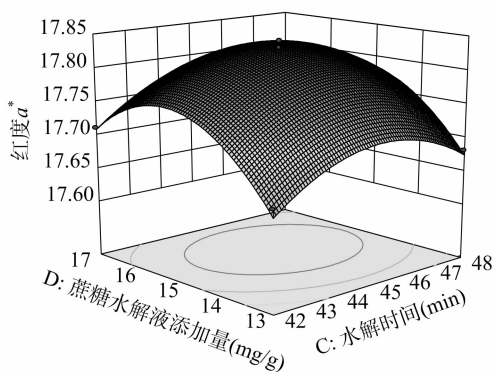


d.水解时间与水解温度交互作用对无硝肉脯发色效果红度 a^* 影响的响应曲面(左图)及等高线(右图)

图5 不同的2个因素交互作用对无硝肉脯发色效果红度 a^* 影响的响应曲面及等高线



e.蔗糖水解液添加量与水解温度交互作用对无硝肉脯发色效果红度 a^* 影响的响应曲面(左图)及等高线(右图)



f.蔗糖水解液添加量与水解时间交互作用对无硝肉脯发色效果红度 a^* 影响的响应曲面(左图)及等高线(右图)

续图 5

分析,对无硝肉脯的发色工艺进行了优化,建立了无硝肉脯发色工艺的 2 次多项式回归模型。经方差分析和响应面图可知,各因素对红度 a^* 值影响的大小顺序为水解温度>蔗糖水解液添加量>糖水比>水解时间,其中糖水比、水解温度和蔗糖水解液添加量对肉脯 a^* 值有极显著的影响,水解温度和蔗糖水解液添加量的交互作用较强,对红度 a^* 的影响显著。经回归分析并结合实际操作便利性,确定最佳无硝肉脯发色工艺为糖水比 2.67 g : 1 mL,水解温度 179 °C,水解时间 46 min,蔗糖水解液添加量 15.3 mg/g,在此条件下,红度 a^* 值为 17.84,与模型的预测值 17.85 基本一致,说明该模型可靠性较高,能很好地预测试验结果,对于无硝肉脯的生产实践有一定的指导意义。

参考文献:

- [1] 姚芳,刘靖,褚洁明. 嫩化型猪肉脯的加工技术优化[J]. 食品科学,2010,31(4):16-20.
- [2] Bredahl L, Grunert K G, Fertin C. Relating consumer perceptions of pork quality to physical product characteristics[J]. Food Quality and Preference, 1998, 9(4): 273-281.
- [3] Woodruff R E, Siliker J H. Process and composition for producing and maintaining good color in fresh meat, fresh poultry and fresh fish: United States, 4522835[P]. 1985-07-10.
- [4] 陈瑶. 糖基化亚硝基血红蛋白的制取及其应用研究[D]. 长沙:湖南农业大学,2011:25-43.
- [5] 杨锡洪,夏文水. 亚硝酸盐替代物——组氨酸发色作用的研究[J]. 食品与生物技术学报,2005,24(5):102-106.
- [6] 鲁耀彬,张芸,吴文锦,等. 正交试验优化猪肉脯感官品质[J]. 肉类研究,2012,26(8):17-21.
- [7] 朱秋劲,罗爱平,张倩,等. 无硝配方及受热差异对牛肉粒作用效果的研究[J]. 食品科学,2003,24(9):54-59.
- [8] 王健,丁晓雯,龙悦,等. 亚硝酸盐新型替代物番茄红素的研究进展[J]. 食品科学,2012,33(3):282-285.
- [9] Kato Y, Watanabe K, Sato Y. Effect of maillard reaction on some physical properties of ovalbumin[J]. Journal of Food Science, 1981, 46(6):1835-1839.
- [10] Morales F J, van Boekel M A J S. A study on advanced maillard reaction in heated casein/sugar solutions: colour formation[J]. International Dairy Journal, 1998, 8(10/11):907-915.
- [11] 周波,黄瑞华,曲亮,等. 色差仪和肉色板在猪肉肉色评定中的应用[J]. 江苏农业科学,2007(2):121-124.
- [12] Johnson R C, Romans J R, Muller T S, et al. Physical, chemical and sensory characteristics of four types of beef steaks[J]. Journal of Food Science, 1990, 55(5):1264-1267.
- [13] 姚芳,祁兴普,刘萍. 复合蛋白酶水解低值淡水鱼工艺的响应面优化[J]. 江苏农业科学,2012,40(6):229-233.
- [14] Dineen N M, Kerry J P, Lynch P B, et al. Reduced nitrite levels and dietary α -tocopheryl acetate supplementation: effects on the colour and oxidative stability of cooked hams[J]. Meat Science, 2000, 55(4):475-482.
- [15] 吴灿,夏延斌,唐鑫. 响应面法优化莲子黄酒的发酵工艺条件[J]. 现代食品科技,2013,29(7):1675-1679.