

TG 酶-酪蛋白酸钠-海藻酸钠凝胶体系 改善调理牛排品质

杨鸿基, 钱植龙, 李浩, 马传松, 金洁, 王凌波

(杭州大希地科技股份有限公司, 浙江杭州 310000)

摘要: 为提高调理牛排品质, 促进产品完整性, 解决调理牛排品质不均一的问题, 本试验分别选择谷氨酰胺转氨酶 (Glutamine transaminase, TG) 质量分数为 0.10%、0.20%、0.30%、0.40%、0.50%, 酪蛋白酸钠质量分数为 0.20%、0.40%、0.60%、0.80%、1%, 海藻酸钠质量分数为 0.10%、0.20%、0.30%、0.40%、0.50%, 作用时间为 2 h、4 h、6 h、8 h、10 h, 进行单因素试验, 以牛排剪切力值、保形性、切片性、煮制粘连性及综合效果为指标确定试验条件, 通过响应面法确定改善调理牛排品质的最佳工艺参数为: TG 酶质量分数 0.32%, 酪蛋白酸钠质量分数 0.40%, 海藻酸钠质量分数 0.31%, 作用时间 6 h, 此时牛排的感官评分为 4.85, 感官评分预测值为 4.89, 相对偏差 0.82%; 拉伸强度为 818.85 g·s, 拉伸强度预测值为 829.43 g·s, 相对偏差 1.27%。该结果可为调理牛排生产企业品质控制及标准化生产提供依据。

关键词: 调理牛排; 响应面; 谷氨酰胺转氨酶; 酪蛋白酸钠; 海藻酸钠

文章编号: 1673-9078(2020)11-226-235

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.11.0476

TG Enzyme-sodium Caseinate-sodium Alginate to Improve the Quality of Conditioned Steak

YANG Hong-ji, QIAN Zhi-long, LI Hao, MA Chuan-song, JIN Jie, WANG Ling-bo

(Hangzhou Daxidi Technology limited company, Hangzhou 310000, China)

Abstract: To improve the quality of regulated steaks, promote its integrity and solve the problem of its uneven quality, in this study, glutamine transaminase (TG) concentration (0.10%, 0.20%, 0.30%, 0.40%, 0.50%), sodium caseinate concentration (0.20%, 0.40%, 0.60%, 0.80%, 1%), sodium alginate concentration (0.10%, 0.20%, 0.30%, 0.40%, 0.50%), and the action time (2 h, 4 h, 6 h, 8 h and 10 h) were selected for single factor experiment. The test conditions were determined based on the steak shear force, shape retention, slicing, cooking adhesion and comprehensive effect. The optimal processing parameters to improve the quality of the steak were determined by response surface method as follows: the mass fraction of TG enzyme was 0.32%, the mass fraction of sodium tyrosinate was 0.40%, the mass fraction of sodium alginate was 0.31%, the acting time was 6 h. Under these conditions, the sensory score of the steak was 4.85, the predictive value of sensory score was 4.89, with a relative deviation of 0.82%; and the tensile strength was 818.85 g·s, the predicted tensile strength was 829.43 g·s, with a relative deviation of 1.27%. The results can provide a basis for quality control and standardized production of regulated steak production enterprises.

Key words: regulated steak; response surface method; Glutamine transaminase enzyme; sodium caseinate; sodium alginate

引文格式:

杨鸿基, 钱植龙, 李浩, 等. TG 酶-酪蛋白酸钠-海藻酸钠凝胶体系改善调理牛排品质[J]. 现代食品科技, 2020, 36(11): 226-235

YANG Hong-ji, QIAN Zhi-long, LI Hao, et al. TG enzyme-sodium caseinate-sodium alginate to improve the quality of conditioned steak [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(11): 226-235

随着现代化产业进程的加快和国民经济水平的不断提高, 人们的消费饮食观念日益转变, 以牛排为代表的西方餐饮开始走向中国家庭的餐桌^[1]。其中调理牛排的研发更是复合中国人的需求, 消费者得以摆脱繁琐的过程, 在家中自行烹饪使用^[2]。目前我国市场

收稿日期: 2020-05-19

作者简介: 杨鸿基 (1995-), 男, 硕士, 研究方向: 畜产品科学

上销售的调理牛排种类繁多, 但工厂化进程中不仅品质不均一, 经常出现牛排嫩度较差且散块的现象^[3], 严重制约了牛排制品的产业化进程。

烹饪过程中的完整性是决定调理牛排品质的关键因素。谷氨酰胺转氨酶 (简称 TG, 以下统称 TG 酶) 属于酰基转移酶的一种, 在自然界中广泛存在, 其作用机理是促使蛋白质间发生酰基转移催化反应, 进而

发生共价交联作用,原辅料之间形成较好的凝胶特性^[4],但TG酶添加量过多会丧失肉的纤维感,降低产品的感官特性。酪蛋白酸钠,又称干酪素,其在肉类工业中被作为乳化剂使用,具有极高的营养价值和食用安全性^[5,6]。同时,酪蛋白酸钠可以增强肉制品的热稳定性,防止亲水胶体在后续加工尤其是加热过程中凝胶体系破坏而造成的产品散块等现象,提高牛排的出品率^[7,8]。海藻酸钠是一种天然多糖,其作用原理和TG酶不同,加入交联剂后,羟基和羧基发生交联反应,形成含水率高的海藻酸钠聚合物,在肉制品中可以体现出较好的生物相容性,以达到调理制品理想的组织状态^[9-13]。国内外很多学者对TG酶和海藻酸钠提高牛排品质进行了大量研究,但有关TG酶、海藻酸钠和酪蛋白酸钠的复合使用鲜有报道。

本试验通过响应面回归设计,以TG酶、酪蛋白酸钠和海藻酸钠为粘合手段对调理牛排进行处理,以剪切力值、粘合效果、感官评分和拉伸强度为评价指标,探究TG酶、酪蛋白酸钠和海藻酸钠改善调理牛排品质的最佳条件、构造有效的复合体系,为牛排的产业化进程提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 原料与试剂

牛肉(上脑),杭州大希地科技股份有限公司;食盐,中盐上海市盐业有限公司;谷氨酰胺转氨酶,江苏一鸣生物股份有限公司;酪蛋白酸钠,山东腾望化工有限公司;海藻酸钠,青岛明月海藻集团有限公司,以上试剂均为食品级。

1.2 主要仪器设备

GR-50 滚揉机,诸城市铭威机械有限公司;HTP-250型锯骨机,诸城市和义机械有限公司;DK-U手动打卡机,河北晓进机械制造股份有限公司;MAQC-12肉质嫩度仪,南京铭奥仪器设备有限公司;TA.XT express物性测试仪,英国Stable Micro System有限公司;DZQ-260台式真空包装机,上海佳河包装机械有限公司;TSK-2614R2ET牛排机,厦门灿坤实业股份有限公司;TP-3001便携式温度计,郑州欧诺仪器有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 样品处理

1.3.1.1 腌制

配方:牛肉,食盐1%(牛肉中的质量分数)。

加工方法:4℃下解冻,剔除牛肉表面脂肪和筋膜,将牛肉切成10 cm×10 cm大小,将食盐溶于水和原料肉混合均匀,在4℃环境下腌制12 h。

1.3.1.2 粘合剂配制

按肉重量的百分比配制嫩化剂,其中TG酶的质量分数分别为0%、0.10%、0.20%、0.30%、0.40%和0.50%;酪蛋白酸钠的质量分数分别为0%、0.20%、0.40%、0.60%、0.80%和1%;海藻酸钠的质量分数分别为0%、0.10%、0.20%、0.30%、0.40%和0.50%。

1.3.1.3 成型

将配置好的粘合剂和原料肉一起放入直径为12 cm的塑料肠衣中,4℃环境下分别静置0、2、4、6、8和10 h,速冻、切片、真空包装后置于-18℃环境下待测。

1.3.1.4 熟制

本研究选择的样品厚度为1.2 cm,煎制温度为170℃,熟制时间为5 min。

1.3.2 保形性

参照尚祖萍方法^[14]略有改动,将最终得到的制品切成1 mm的薄片在室温下计算保形时间。制品切片保持型状时间 $t \geq 30$ min给5分, $t \geq 25$ min为3分, $t < 20$ min的为1分, $t < 10$ min给0分,在相邻分数区间的为4分和2分。

1.3.3 切片性

参照尚祖萍方法^[14]略有改动,切面平整,有完整形态的制品为5分或4分;切面松散,有肉渣掉落制品为2分或3分;不能成片制品为0分或1分。

1.3.4 煮制粘连性

参照尚祖萍方法^[14]略有改动,将肉卷放入沸水1 min后捞起,形状保持完整的给5分;散落在10%~30%之间的为3分;散落超过50%给1分,有70%以上散则为0分;在相邻分数区间的为4分和2分。

1.3.5 剪切力

参照马娅俊^[15]的方法并稍作修改。样品冷却后切成3 cm×1 cm×1 cm长方体进行测试,每个样品测6次取其平均值。使用肌肉嫩度仪进行测试,测前、测中和侧后的速度均为5 mm/s。

1.3.6 拉伸强度

质构分析仪适配探头P/5。样品切成1.2 cm厚的切片,煎制至中心温度为76.6℃后调整为1.0×1.0 cm²,穿刺测试距离10 mm。

1.3.7 综合效果

参考GB/T 20712-2006及相关文献制定评分标准。评价小组由10位经过培训的优选评价员组成。对样品进行3位随机数字密码编号,确保评价结果是由

评价小组成员独立进行,小组成员互不接触交流,评价不同样品之间用清水漱口。从生鲜调理牛排的切片性、粘合性、组织状态和熟制重组牛排的咀嚼性、粘

合性和组织状态六项指标进行产品评分。采用5分制,共计30分,最后取平均值,作为粘合效果评价最终结果。综合评价依据如表1所示。

表1 调理牛排粘连综合效果

Table 1 Comprehensive effect of regulating steak adhesion

评分	切片性	咀嚼性	黏合性	组织状态
≤3	不能切片	无任何肉制品的弹性和硬度	粘合不好,会散块	呈明显分散状
4~5	勉强能切成厚肉片	有一定肉制品的弹性和嫩度	有一定粘结性	不坚实、切面不整、有明显裂痕和气孔
5~6	能切成较厚的肉片	有牛排应有的嫩度但咀嚼性差	指压会散块	不够坚实、切面不太平整,有轻微裂痕和气孔
7~8	勉强能切成完整的薄片	有牛排应有的嫩度但咀嚼性一般	指压不散块	较紧密,切片较平整,无裂痕,有少许气孔
9~10	能切成完整的薄片	有牛排应有的嫩度和咀嚼性	粘合效果好	紧密、坚实,切面平整,无裂痕,无气孔

1.3.8 感官评分

参考 GB/T《感官分析:选拔与培训感官分析:优选评价员导则》选拔、培训10名优选评价员对牛排进行感官评价,具体评价指标见表2。

表2 感官评价表

Table 2 Sensory evaluation table

参数	评价标准	分数
色泽	切面有光泽,色泽鲜艳而均匀	1
	切面光泽一般,色泽浅红	3
	切面无光泽,色泽呈灰色	5
组织状态	切面纹理细致光滑,无粘着感	1
	切面纹理较为细致,略有粘着感	3
	切面纹理粗糙,粘着感强	5
香气	香味浓郁,且有牦牛肉固有的香味	1
	香味很弱,几乎闻不出来	3
	有异味或有生肉的腥味	5
嫩度	鲜嫩多汁,风味浓郁,肉质有弹性	1
	嫩度一般,弹性一般	3
	干燥无味,咀嚼时木质化严重	5
滋味	咸淡适中,鲜香美味,无异味	1
	咸淡适中,鲜香不突出	3
	几乎尝不出牦牛肉应有的风味	5

为了更加客观的评价样品,使用强制决定法来确定各因素的权重分配方案,合理分配色泽,组织状态,香气,嫩度和滋味所占的分值,感官指标权重决定表见表3。10名测评人员依次对比横行和纵列指标的重要程度,当测评人员认为横行指标重要程度大于纵列指标时,评4分,横行指标略重要程度略大于纵列指标时,评3分,横纵指标同等重要时评2分,横行指标重要程度略小于纵列指标时,评1分,横行指标重

要程度小于纵列指标时,评0分。10名评测人员每项指标得分记作 u ,总分为 $\sum u$,而感官指标所占权重 $U=u/\sum u$,得出计算公式如下:

$$\text{感官评分} = 0.174 \times \text{色泽} + 0.168 \times \text{组织状态} + 0.182 \times \text{香气} + 0.252 \times \text{嫩度} + 0.224 \times \text{滋味}$$

表3 感官指标权重决定表

Table 3 Sensory index weight evaluation table

一对一评价结果							
评价因素	色泽	组织状态	香气	嫩度	滋味	得分	权重/%
色泽						u_1	U_1
组织状态						u_2	U_2
香气						u_3	U_3
嫩度						u_4	U_4
滋味						u_5	U_5
合计						$\sum u$	

1.3.9 响应面试验设计

表4 响应面优化的因素水平表

Table 4 Factors and levels of response surface optimization

水平	因素			
	ATG酶质量分数/%	B酪蛋白酸钠质量分数/%	C海藻酸钠质量分数/%	D作用时间/h
-1	0.2	0.3	0.2	5
0	0.3	0.4	0.3	6
1	0.4	0.5	0.4	7

以TG酶质量分数(A)、酪蛋白酸钠质量分数(B)、海藻酸钠质量分数(C)和作用时间(D)为自变量进行单因素试验。根据单因素试验结果,以感官评分(Y_1)和

拉伸强度(Y_2)为响应值, 用 Design-Expert 8.06 进行响应面设计。试验各因素水平见表 4。

1.4 数据处理

采用 Origin 2018 作图, 表格数据采用平均值±标准差表示; 用 Design-Expert 8.06 软件进行响应面设计及优化分析; 用 IBM SPSS Statistics 22 软件分析, 多重比较采用 Duncan ($p<0.05$)。

2 结果与讨论

2.1 单因素试验结果与分析

2.1.1 TG 酶质量分数对牛排嫩度和粘合效果的影响

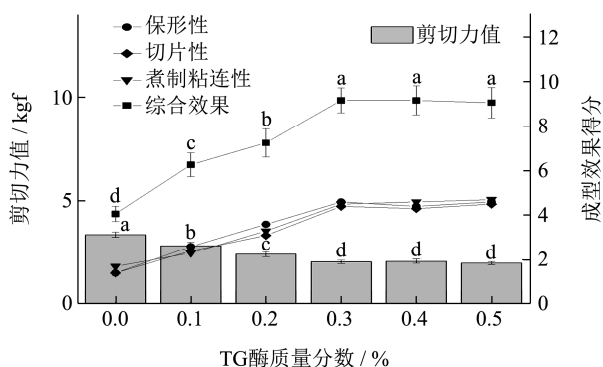


图 1 TG 酶质量分数对牛排嫩度和成型效果的影响

Fig.1 Effect of TG enzyme content on tenderness and shaping of steak

注: 图中不同字母代表不同处理条件下综合效果和剪切力值差异显著 ($p<0.05$), 下同。

由图 1 可知, 当 TG 酶质量分数在 0~0.30% 时, 牛排的剪切力值随 TG 酶质量分数的增加而显著降低 ($p<0.05$), TG 酶质量分数为 0.30% 时, 牛排剪切力值为 2.053 kgf, 相比对照组降低 25.10%; 成型综合效果为 9.15, 相比对照组提升 124.82%。这可能是由于随着 TG 酶含量的增加, 催化了牛排中蛋白质分子和 TG 酶分子肽键中谷氨酸胺残基 γ -羧酸酰胺基和伯胺之间的酰胺基转移反应^[16], 形成蛋白质分子内和分子间 ϵ - (γ -谷氨酰) 赖氨酸异肽键, 使蛋白质分子之间发生交联反应, 形成了稳定的蛋白质网状结构^[17,18], 保持大量水分, 牛排的嫩度改善, 剪切力降低, 成型效果增强; TG 酶质量分数位于 0.30%~0.50% 时, 牛排的保形性、切片性和煮制粘连性均趋于平缓, 剪切力值和综合效果变化不显著 ($p>0.05$), 主要原因可能是由于肉中蛋白质浓度是固定不变的, 随着 TG 酶质量分数的增加, 蛋白质交联反应由于缺少蛋白质底物而无法持续进行, 牛排的保水性达到了峰值, 肉的剪

切力值随之稳定, 而成型效果已达到最佳, 无法继续改善^[19]蒋平香^[3]研究得出当 TG 酶质量分数在 0~2% 时, 重组猪肉产品的凝胶强度呈现上升趋势, 响应面优化结果 TG 酶质量分数 1.95% 时, 碎肉重组产品凝胶强度值为 32366 g·cm, 这和本研究的变化趋势一致。

2.1.2 酪蛋白酸钠对牛排嫩度和粘合效果的影响

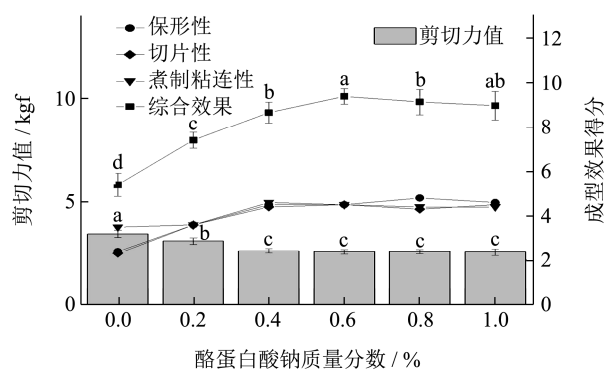


图 2 酪蛋白酸钠对牛排嫩度和成型效果的影响

Fig.2 Effect of sodium caseinate on tenderness and shaping of steak

由图 2 可知, 酪蛋白酸钠质量分数在 0~0.40% 时, 牛排的剪切力值随酪蛋白酸钠质量分数的提高显著下降 ($p<0.05$), 酪蛋白酸钠质量分数为 0.40% 时, 制品剪切力值为 2.054 kgf, 相比对照组降低 23.95%; 成型综合效果则呈现显著上升趋势 ($p<0.05$), 酪蛋白酸钠质量分数为 0.40% 时, 成型综合效果得分 8.65, 相比对照组提升 60.48%。这可能是由于在酪蛋白酸钠浓度较小时, 酪蛋白酸钠很难形成稳定性较好的乳液, 因此牛排的成型效果和嫩度都比较差。随着酪蛋白酸钠质量分数的增加, 粘体体系的乳化能力不断提升, 油水界面的张力变大, 表面能减小, 从而使得体系的稳定性增加, 阻止了亲水胶体在加热过程中的破坏, 成型效果改善^[20]。综合图 1 和图 2 可知, 酪蛋白酸钠对牛排剪切力值的影响比 TG 酶小。酪蛋白酸钠质量分数在 0.40%~1% 时, 牛排的剪切力值趋于平稳, 成型综合效果有轻微的波动, 主要原因可能是当酪蛋白酸钠浓度达到一定程度以后, 界面上分子的排列已达到饱和^[21], 强度无法继续增加, 牛排的持水性最佳, 剪切力无法降低, 成型效果只存在细微差别。

2.1.3 海藻酸钠对牛排嫩度和粘合效果的影响

由图 3 可知, 在 0~0.30% 范围内, 牛排的剪切力随海藻酸钠质量分数的增加而显著下降 ($p<0.05$), 海藻酸钠质量分数为 0.03% 时, 牛排剪切力值为 2.014 kgf, 相比对照组降低 22.03%; 成型综合效果则呈现显著上升趋势 ($p<0.05$), 海藻酸钠质量分数为 0.30% 时, 成型综合效果得分 9.17, 相比对照组提升 68.21%。

可能是由于海藻酸钠的加入明显提升了牛肉在加热过程中的凝胶稳定性^[22]。海藻酸钠分子链上的羧基可以通过离子键和除镁和汞之外的二价阳离子形成凝胶，海藻酸钠的G链段和M链段均可以和钙离子结合，G链段可以形成具有良好热稳定性的凝胶，M链段可以形成弹性好且具备良好冻融性的凝胶，张慧曼^[23]研究得出当海藻酸钠浓度在0~1%时，随着海藻酸钠浓度升高，凝胶体系的系水能力显著增大，海藻酸钠浓度1%时凝胶系水能力为99.18%，空白组为95.75%，相比空白组，海藻酸钠浓度1%时凝胶系水能力提升了3.58%，这和本研究的趋势一致。牛排的成型效果得到改善，凝胶的网状结构提升牛肉的持水性，剪切力值降低^[24]。海藻酸钠质量分数在0.30%~0.50%时，牛排的保形性、切片性、煮制粘连性趋于平稳，综合效果无显著变化 ($p>0.05$)，这可能是由于海藻酸钠量过多时，牛排的凝胶强度持续提高，但成型效果已无法提升。随着海藻酸钠质量分数的上升，剪切力值呈现显著上升的趋势 ($p<0.05$)。

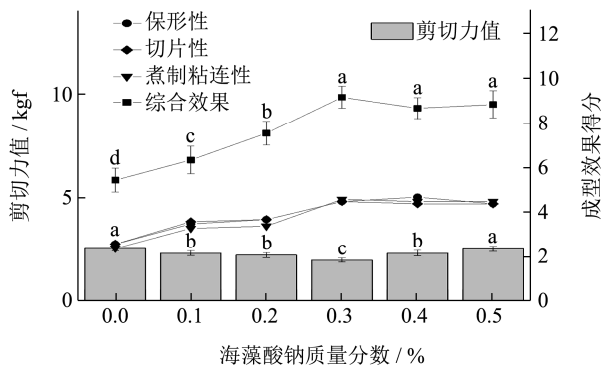


图3 海藻酸钠对牛排嫩度和成型效果的影响

Fig.3 Effect of sodium alginate on tenderness and shaping of steak

2.1.4 作用时间对牛排嫩度和粘合效果的影响

由图4可知，作用时间在0~6 h时，牛排的剪切力值随作用时间的增加呈现显著下降 ($p<0.05$) 的趋势，作用时间为6 h时，牛排剪切力值为2.089 kgf，相比对照组降低20.50%；成型综合效果则呈现显著上升趋势 ($p<0.05$)，作用时间为6 h时，成型综合效果得分8.82，相比对照组提升68.35%。这可能是由于随着作用时间的延长，粘合体系开始逐渐发挥作用，牛排的保水性和成型效果得到提升。尚祖萍^[14]研究得出酪蛋白酸钠、大豆分离蛋白单硬脂酸甘油酯、TG酶按2:4:1进行复配，按1.20%添加到原料肉中，反应时间4 h牛肉的成型效果最佳，此时牛肉重组效果得分达到了12.67。这与本研究有所差异，可能是由于复配凝胶体系的成分及比例差异所致。作用时间大于6 h时，牛排的剪切力值和综合效果均呈现平稳趋势

($p>0.05$)。主要原因可能是TG酶和海藻酸钠对于粘合体系统强度的提升均达到了峰值，TG酶缺少最适反应底物^[25]，牛排的剪切力值无法继续下降。

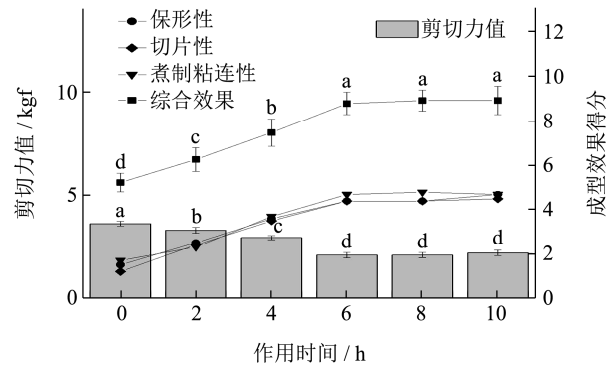


图4 作用时间对牛排嫩度和成型效果的影响

Fig.4 Effect of action time on tenderness and shaping effect of steak

牛排品质评价的指标会影响各因素的筛选，剪切力值是一种常见的反映牛肉嫩度的参数，剪切力值越低，嫩度越好。本研究的主要目的是提升牛排品质的同时使产品更加贴近消费者，过于强调剪切力值的降低可能会适得其反，在改善嫩度的同时必须从多维度评价牛排，因此引入了牛排成型的保形性、切片性、煮制粘连性、综合效果等指标。通过感官等因素的变化来矫正由于剪切力值造成的品质降低问题^[26]。综合考虑，最终选取TG酶质量分数0.30%，酪蛋白酸钠质量分数0.60%，海藻酸钠质量分数0.30%和作用时间6 h作为响应面的中心点，选取感官评分和拉伸强度为响应面试验指标。

2.2 响应面试验结果

2.2.1 Box-Behnken 试验结果及模型建立

根据单因素预实验结果，选取TG酶质量分数(A)、酪蛋白酸钠质量分数(B)、海藻酸钠质量分数(C)和作用时间(D)中的合理条件进行四因素三水平的 Box-Behnken 响应面分析试验，试验设计及结果见表5。运用 Design-ExPert 8.06 对表中的数据进行二次多元回归拟合，得到感官评分(Y_1)和拉伸强度(Y_2)与4个因子A、B、C、D的关系为：

$$Y_1 = -7.40458 + 19.56667A + 16.55833B + 17.58333C + 0.8875D + 13.25AB - 17.25AC + 0.525AD + 6.75BC + 0.525BD - 0.35CD - 33A^2 - 32.25B^2 - 19.625C^2 - 0.09375D^2$$

$$Y_2 = 2850.5773 + 1868.44667A + 3242.30667B + 3508.9966C + 736.121D + 135.75AB + 232AC + 266.96AD + 1555BC + 18.45BD - 42.825CD - 5842.00833A^2 - 4819.25833B^2 - 6459.75833C^2 - 67.78008D^2$$

表5 牛排品质改良的 Box-Behnken 试验结果

Table 5 Box-Behnken test results of steak quality improvement

试验号	TG 酶质量 分数/%	酪蛋白酸钠质 量分数/%	海藻酸钠 质量分数/%	作用时间/h	Y ₁ 感官评分	Y ₂ 拉伸强度/(g·s)
1	0.3	0.4	0.4	7	4.67	683.81
2	0.3	0.3	0.4	6	4.33	712.12
3	0.3	0.3	0.2	6	4.22	719.16
4	0.2	0.4	0.3	5	4.24	731.22
5	0.4	0.4	0.3	5	4.65	721.12
6	0.3	0.4	0.2	7	4.47	685.01
7	0.3	0.4	0.3	6	4.79	819.15
8	0.4	0.3	0.3	6	4.5	704.17
9	0.3	0.4	0.3	6	4.89	837.49
10	0.2	0.5	0.3	6	3.66	715.37
11	0.4	0.4	0.2	6	4.65	709.96
12	0.3	0.4	0.4	5	4.75	694.28
13	0.3	0.4	0.2	5	4.41	678.35
14	0.2	0.4	0.2	6	3.71	702.63
15	0.3	0.4	0.3	6	4.88	812.62
16	0.2	0.3	0.3	6	4.05	708.84
17	0.3	0.5	0.3	7	4.56	717.14
18	0.4	0.4	0.4	6	4.53	723.85
19	0.3	0.3	0.3	5	4.35	722.48
20	0.4	0.4	0.3	7	4.69	743.15
21	0.3	0.3	0.3	7	4.47	736.32
22	0.3	0.5	0.4	6	4.55	759.74
23	0.2	0.4	0.3	7	4.07	646.47
24	0.3	0.5	0.3	5	4.23	695.92
25	0.3	0.5	0.2	6	4.17	704.58
26	0.3	0.4	0.3	6	4.85	832.93
27	0.2	0.4	0.4	6	4.28	707.24
28	0.3	0.4	0.3	6	4.79	845.09
29	0.4	0.5	0.3	6	4.64	716.13

表6 牛排品质改良二次多项式模型的方差分析

Table 6 Variance analysis of quadratic polynomial model for steak quality improvement

方差来源	Y ₁ 感官评分				Y ₂ 拉伸强度			
	偏差平方和	自由度	F 值	P 值	偏差平方和	自由度	F 值	P 值
模型	2.76	14	25.38	<0.0001**	66390.03	14	11.61	<0.0001**
A	1.11	1	142.96	<0.0001**	947.14	1	2.32	0.15
B	0.001	1	0.13	0.72	2.79	1	0.007	0.94
C	0.18	1	23.50	0.0003**	551.49	1	1.35	0.26
D	0.008	1	0.97	0.34	82.53	1	0.20	0.66
AB	0.07	1	9.04	0.0094**	7.37	1	0.02	0.90
AC	0.12	1	15.33	0.0016**	21.53	1	0.05	0.82

转下页

接上页									
AD	0.01	1	1.42	0.25	2850.49	1	6.98	0.02*	
BC	0.02	1	2.35	0.15	967.21	1	2.37	0.15	
BD	0.01	1	1.42	0.25	13.62	1	0.03	0.86	
CD	0.005	1	0.63	0.44	73.36	1	0.18	0.68	
A ²	0.71	1	90.96	<0.0001**	22137.77	1	54.19	<0.0001**	
B ²	0.67	1	86.87	<0.0001**	15065.03	1	36.87	<0.0001**	
C ²	0.25	1	32.17	<0.0001**	27067.12	1	66.25	<0.0001**	
D ²	0.06	1	7.34	0.0169*	29799.83	1	72.94	<0.0001**	
残差	0.11	14			5719.80	14			
失拟	0.10	10	4.33	0.09	5009.10	10	2.82	0.16	
纯误差	0.009	4			710.70	4			
总和	2.87	28			72109.83	28			

注：“**”表示有极显著影响 ($p < 0.001$)；“*”表示有显著影响 ($p < 0.05$)。

2.2.2 多元回归模型分析

由表 6 可知, 在本试验设计的因素水平内, 各试验因子对响应值的影响不是简单的线性关系, 两个回归模型均为极显著水平 ($p < 0.01$) 且失拟项不显著 ($p > 0.05$), 表明误差是由随机误差引起的^[27]。Y₁ 模型决定系数 R² 为 0.9621, 校正决定系数 R²_{Adj} 为 0.9242; Y₂ 模型决定系数 R² 为 0.9207, 校正决定系数 R²_{Adj} 为 0.8414, 证明模型对试验拟合程度很好, 能真实反应各因素与响应值之间的关系^[28], 该方程可用作对牛排品质改良体系的感官评分和拉伸强度进行预测分析。

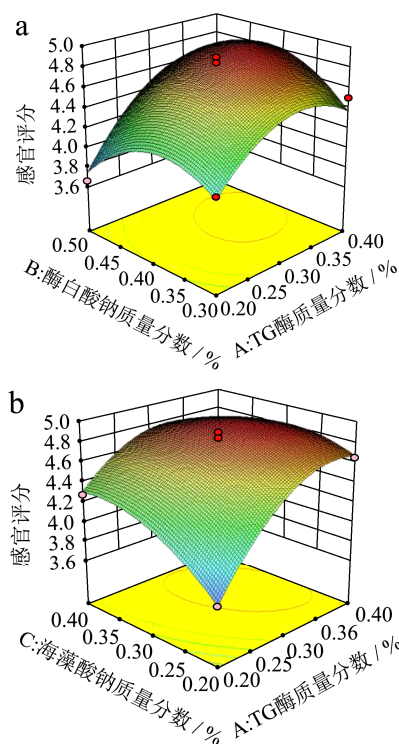
2.2.3 响应面试验分析因素的相互影响

响应面是各因素与响应值间构成的三维空间曲面图, 曲面的陡峭程度反应了各因素对响应值的影响大小。等高线越密集、坡度越陡说明两因素的交互影响越大, 坡度平缓则表示两因素交互作用不显著^[29]。

根据二次多项式回归方程, 使用 Design-ExPert 8.06 对表 4 中的数据进行多元回归拟合, 得到响应面图, 图 5、图 6 分别代表感官评分和拉伸强度对应的各个交互因素的响应面图。

由图 5 可知, 感官评分最高的点位于等高线的中心区域。在选定的因素水平内, F(A)=142.96, F(B)=0.13, F(C)=23.5, F(D)=0.97, 即各因素对感官评分的影响顺序为 TG 酶>海藻酸钠>作用时间>酪蛋白酸钠。其中 TG 酶和海藻酸钠对牛排的感官评分影响极显著, 当海藻酸钠质量分数和作用时间固定为 0.30% 和 6 h 时, A 和 B 的交互作用对牛排感官品质的影响极显著 ($p < 0.01$), 酪蛋白酸钠浓度较低时, TG 酶对于牛排感官品质的提升有限, 随着酪蛋白酸钠的加入, 亲水胶体在加热过程中受到保护, 粘合体系的

耐温性得到提升, 促使 TG 酶产生了最佳的作用效果。TG 酶加入后, 酪蛋白酸钠质量分数为 0.60% 时, 牛排的成型综合效果得分为 9.38, 相比对照组提升 74.03%。当酪蛋白酸钠质量分数和作用时间固定为 0.40% 和 6 h 时, A 和 C 的相互作用显著影响牛排的感官评分, 这可能是由于海藻酸钠的粘合路径和 TG 酶有较大区别, 随着海藻酸钠添加量的逐渐增加, 牛排的剪切力逐渐降低。海藻酸钠质量分数为 0.30% 时, 剪切力为 2.014 kgf, 对照组为 2.583 kgf; 成型综合效果则由 4.45 上升至 9.17。凝胶体系网状结构更紧密^[30], 牛排的感官品质得到提升。



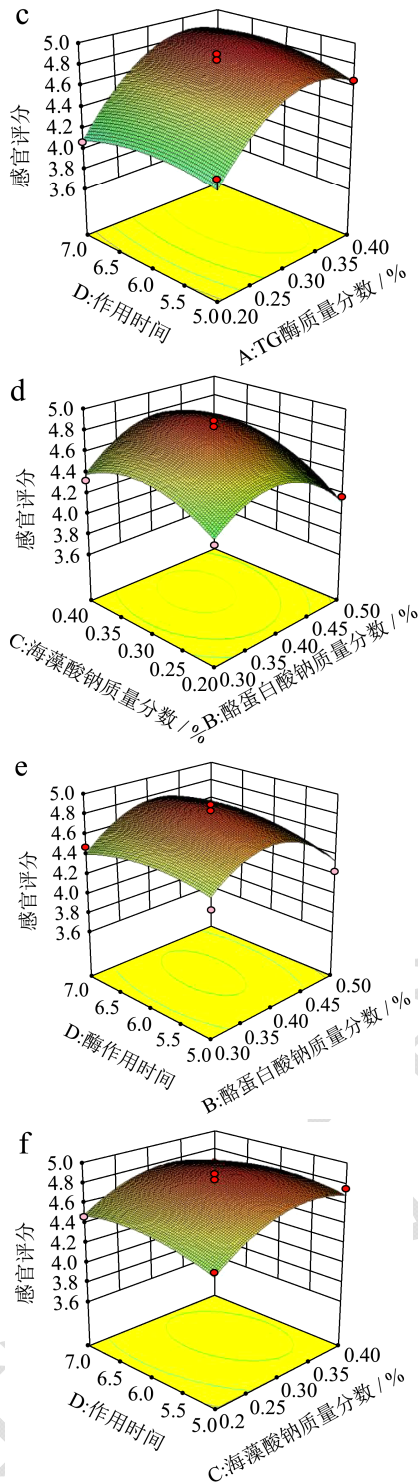


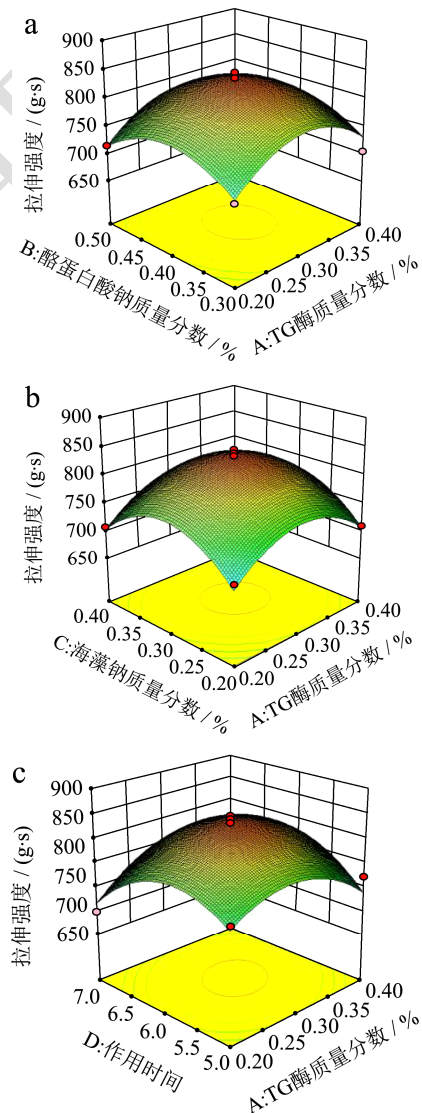
图5 各因素对感官评分影响的响应面图

Fig.5 Esponse surface graphs showing the effect of various factors on sensory evaluation score

由图6可知,在选定的因素水平内, $F(A)=2.32$, $F(B)=0.007$, $F(C)=1.35$, $F(D)=0.2$, 即各因素对牛排拉伸强度的影响顺序为 TG 酶>海藻酸钠>作用时间>酪蛋白酸钠, 由各因素的 P 值可知 A 和 C 对 Y_2 的影响大于 B 和 D, 但均不显著 ($p>0.05$)。这可能是由于在选定的因素水平内, 各因素对调理牛排拉伸强度的

影响在试验误差允许的范围内。当酪蛋白酸钠质量分数和海藻酸钠质量分数固定为 0.40%和 0.30%时, A 和 D 的交互作用对牛排拉伸强度的影响显著 ($p<0.05$), 主要原因可能是 TG 酶在 4 °C 条件下和肉反应需要一定的时间, 随着时间的增加, TG 酶的反应愈加充分, 作用时间 6 h 时, 牛排的剪切力值为 2.089 kgf, 相比对照组降低了 42.50%。马娅俊^[15]研究粘合剂添加量 1.40%、粘合时间 10 h、粘合温度 12 °C 时, 产品拉伸强度 896.35 g·s, 原料肉获得较强成型效果, 这与本试验得出的作用时间有所差异, 可能是由于凝胶体系所选择的添加剂种类不同。

感官评分和拉伸强度越高, 证明复合凝胶体系对牛排的品质改善越显著。联立两个二次多项式方程并对各变量求导, 得出各因素的最佳使用量为 TG 酶质量分数 0.32%, 酪蛋白酸钠质量分数 0.40%, 海藻酸钠质量分数 0.31%, 作用时间 6.02 h, 在此条件下的感官评分预测值为 4.89, 拉伸强度预测值为 829.43 g·s。



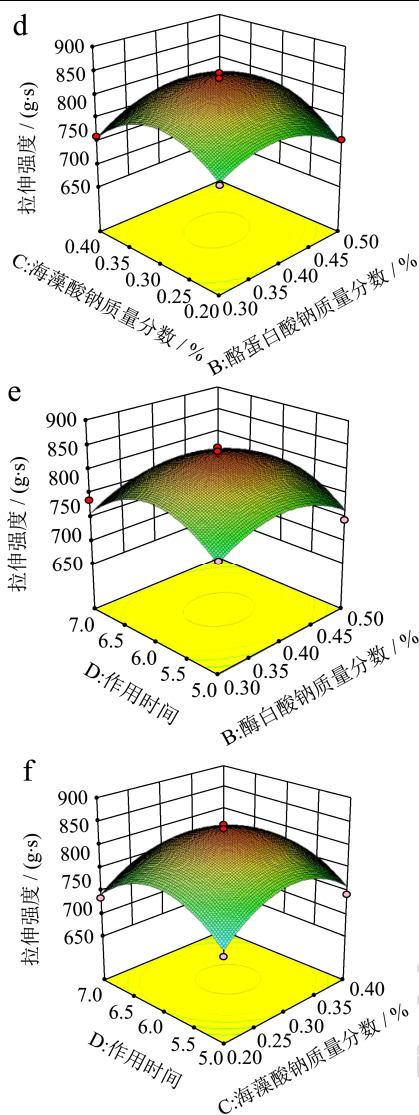


图6 各因素对拉伸强度影响的响应面图

Fig.6 Response surface diagram of influence of various factors on tensile strength

2.2.4 验证试验

结合实际生产, 最终确定 TG 酶质量分数 0.32%, 酪蛋白酸钠质量分数 0.40%, 海藻酸钠质量分数 0.31%, 作用时间 6 h 进行验证, 做 6 次平行试验, 同时与无凝胶体系组调理牛排感官评分和拉伸强度进行对照, 得到的实际结果为: 感官评分 4.85, 相对偏差为 0.82%; 拉伸强度 818.85 g·s, 相对偏差为 1.28%, 无凝胶体系组牛排感官评分为 3.11, 显著小于实验组, 牛排无法成型, 熟制后散落成快, 已无法进行拉伸强度的测定。证明本试验得出的结果可以改善调理牛排品质, 有很好的应用前景。

3 结论

TG 酶、酪蛋白酸钠和海藻酸钠的复合使用可以明显提升调理牛排的品质。本试验通过响应面回归设

计并结合实际生产最终确定的最佳复合体系条件为: TG 酶质量分数 0.32%, 酪蛋白酸钠质量分数 0.40%, 海藻酸钠质量分数 0.31%, 作用时间 6 h。此条件下, 感官评分值为 4.85, 拉伸强度为 818.85 g·s, 试验结果与预测值拟合良好。此工艺条件下的调理牛排综合品质良好, 具有实用价值。

参考文献

- [1] Wojdy L, Figie, Oszmianski. Effect of drying methods with the application of vacuum microwaves on the bioactive compounds,color,and antioxidant activity of strawberry fruits [J]. Agricultural and Food Chemistry, 2009, 57(4): 1337-1343
- [2] Ntchas G J E, Skandamis P N, Tassou C C, et al. Meat spoilage during distribution [J]. Meat Science, 2008, 78(1-2): 77-89
- [3] 蒋平香,王勤志,滕建文,等.响应面法优化猪肉重组工艺配方[J].食品与发酵工业,2019,45(10):168-171
JIANG Ping-xiang, WANG Qin-zhi, TENG Jian-wen, et al. Optimization of pork reconstitution by response surface methodology [J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(10): 168-171
- [4] CUI Li, DU Guo-cheng, ZHANG Dong-xu, et al. Purification and characterization of transglutaminase from a newly isolated *Streptomyces hygroscopicus* [J]. Food Chemistry, 2007, 105(2): 612-618
- [5] Shand P J, Ya H, Pietrasik Z, et al. Physicochemical and textural properties of heatinduced pea protein isolate gels [J]. Food Chemistry, 2007, 102(4): 1119-1130
- [6] 李静红.响应面法优化酪蛋白酸钠-豌豆分离蛋白纳米乳液制备工艺[J].中国食品与营养,2018,24(6):35-40
LI Jing-hong. Optimization of preparation of sodium caseinate, pea protein isolate nanoemulsion by response surface methodology [J]. Food and Nutrition in China, 2018, 24(6): 35-40
- [7] 孙勤,王丽娟.酪蛋白酸钠稳定的海藻油纳米乳液制备及表征[J].现代食品科技,2016,32(6):183-187
SUN Qin, WANG Li-juan. Preparation and characterization of sodium alginate nanoemulsion stabilized by sodium caseinate [J]. Modern Food Science and Technology, 2016, 32(6): 183-187
- [8] 彭媛媛,王昱圭,汤雪纤,等.pH 值对低酯果胶/酪蛋白酸钠复合体系流变及结构特性的影响[J].食品科学,2019,40(6): 35-40
PENG Yuan-yuan, WANG Yu-gui, TANG Xue-xian, et al. Effect of pH value on rheological and structural properties of

- low ester pectin/sodium caseinate composite system [J]. Food Science, 2019, 40(6): 35-40
- [9] 鲁冬雪,徐倩倩,王稳航.海藻酸钠凝胶机制及其在食品中的应用研究进展[J].中国食物与营养,2014, 20(10):43-46
LU Dong-xue, XU Qian-qian, WANG Wen-hang. Progress in alginate gel mechanism and its application in food industry [J]. Food and Nutrition in China, 2014, 20(10): 43-46
- [10] Grant G T, Morris E R, Rees D A, et al. Biological interactions between polysaccharides and divalent cations: the egg-box model [J]. Febs Letters, 1973, 32(1): 195-198
- [11] 周艳青,向忠琪,何璐,等.海藻酸钠凝胶与大米淀粉糊化共存体系的构建[J].食品科学,2019,40(4):28-32
ZHOU Yan-qing, XIANG Zhong-qi, HE Lu, et al. Construction of the coexistence system of sodium alginate gelation and rice starch gelatinization [J]. Food Science, 2019, 40(4): 28-32
- [12] ZHONG Dan, HUANG Xin, YANG Hu, et al. New insights into viscosity abnormality of sodium alginate aqueous solution [J]. Carbohydrate Polymers, 2010, 81(4): 948-952
- [13] 刘全娇,陆剑锋,吕顺,等.海藻酸钠对鱼皮明胶膜理化特性的影响[J].食品科学,2019,40(4):81-85
LIU Quan-jiao, LYU Jian-feng, LU Shun, et al. Effect of sodium alginate on physicochemical properties of fish skin gelatin film [J]. Food Science, 2019, 40(4): 81-85
- [14] 尚祖萍.牛肉重组方法及效果研究[D].长春:吉林大学,2011, 24-26
SHANG Zu-ping. Methods of recombinant beef and effect [D]. Changchun: Jilin University, 2011, 24-26
- [15] 马娅俊.预制牛排工艺的优化研究及应用[D].兰州:甘肃农业大学,2017
MA Ya-jun. Research of improvement of prepared beef processing and application [D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2017
- [16] Dimitrakopoulou M A, Ambrosiadis J A, Zetou F K, et al. Effect of salt and transglutaminase (TG) level and processing conditions on quality characteristics of phosphate-free, cooked, restructured pork shoulder [J]. Meat Science, 2005, 70(4): 743-749
- [17] Pietrasik Z, Gaudette N J. The impact of salt replacers and flavor enhancer on the processing characteristics and consumer acceptance of restructured cooked hams [J]. Meat Science, 2014, 96(3): 1165-1170
- [18] Kingsley K, Youling L, Kwaku A. Influence of salt and pH on the solubility and structural characteristics of transglutaminase-treated wheat gluten hydrolysate [J]. Food Chemistry, 2008, 107(3): 1131-1137
- [19] 郭亚龙,王强,胡晖,等.花生豆腐加工过程中凝胶质构形成研究进展[J].中国食品学报,2019,19(7): 300-307
GUO Ya-long, WANG Qiang, HU Hui, et al. Research progress in gel texture formation of peanut tofu during processing [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2019, 19(7): 300-307
- [20] Dimitris P, Christos R, Iakovos T, et al. Effect of fat volume fraction, sodium caseinate, and starch on the optimization of the sensory properties of frankfurter sausages [J]. Food Science and Nutrition, 2013(1): 32-44
- [21] 王晓娟,李伟锋,唐长波,等.酪蛋白酸钠-葵花籽油协同对乳化肠品质特性的影响[J].食品科学,2015,36(3):51-56
WANG Xiao-juan, LI Wei-feng, TANG Chang-bo, et al. Effect of sodium caseinate sunflower seed oil synergism on quality characteristics of emulsified sausage [J]. Food Science, 2015, 36(3): 51-56
- [22] 刘凤华,刘佳林,陈浩,等.鱼明胶/海藻酸钠复合凝胶特性研究[J].食品科学技术学报,2018,36(4):61-67
LIU Feng-hua, LIU Jia-lin, CHEN Hao, et al. Study on the characteristics of fish gelatin / alginate composite gel [J]. Journal of Food Science and Technology, 2018, 36(4): 61-67
- [23] 杨英.浓缩诱导含钙离子的海藻酸钠与高酯果胶体系凝胶及其应用的研究[D].无锡:江南大学,2012
YANG Ying. Concentration-induced gelation of Ca²⁺-containing sodium alginate and high methoxy pectin systems and its application [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2012
- [24] WEI Xiu-li, CHEN Zhu-kang, LU Yi, et al. Physicochemical characterization of a pectin/calcium matrix containing a large fraction of calcium chloride: implications for sigmoidal release characteristics [J]. Journal of Applied Polymer Science, 2009, 113(4): 2418-2428
- [25] 才卫川,张坤生,任云霞.TG 酶协同超高压处理对鸡肉糜制品品质的影响[J].食品科学,2014,35(18):22-27
CAI Wei-chuan, ZHANG Kun-sheng, REN Yun-xia. Effects of combined transglutaminase and high pressure treatment on the quality of ground chicken products [J]. Food Science, 2014, 35(18): 22-27
- [26] 陶瑞,汤晓艳,龚艳.响应面法优化木瓜蛋白酶-复合磷酸盐嫩化低档部位牛肉工艺[J].食品科学,2016,37(20):13-18
TAO Rui, TANG Xiao-yan, GONG Yan. Response surface methodology for optimization of tenderization conditions for low-grade beef using papain and composite phosphate [J]. Food Science, 2016, 37(20): 13-18