

响应面法优化猪肉 TPA 质构测试条件

刘丽宅, 张鑫, 金香淑, 王蕾, 赵云辉, 王多伽, 刘笑笑*

(吉林省农业科学院/农业农村部肉牛遗传育种重点实验室, 长春 130033)

摘要:【目的】利用响应面法对猪肉的 TPA 测试条件进行优化。【方法】采用质构仪对猪肉进行 TPA 测试, 通过单因素试验, 考察测中速度、两次下压间隔时间和压缩比 3 个因素对猪肉质构特性的影响。在单因素基础上, 采用 3 因素 3 水平的响应面分析法对猪肉的 TPA 测试条件进行优化, 依据回归分析确定最优测定条件。【结果】测中速度对猪肉凝聚性、弹性影响显著 ($P<0.05$), 两次下压间隔时间对凝聚性、黏性、咀嚼度、硬度影响显著 ($P<0.05$), 压缩比对猪肉凝聚性、弹性、黏性、咀嚼度、硬度影响显著 ($P<0.05$), 测中速度与两次下压间隔时间的交互作用对猪肉硬度影响显著 ($P<0.05$), 测中速度、两次下压间隔时间、压缩比对黏结性所建立的模型不成立。【结论】进行响应面 Box-Behnken 分析法分析得到猪肉 TPA 测试最佳测试条件为: 测中速度 1.42 mm/s、两次下压间隔时间 5.31 s、压缩比 50.1%。

关键词:猪肉; 质构特性; 响应面法; 测定条件; 优化

中图分类号: S828; TP251.5⁺¹

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2024)05-0100-09

Optimization of Testing Conditions for Pork TPA Texture Using Response Surface Methodology

LIU Lizhai, ZHANG Xin, JIN Xiangshu, WANG Lei, ZHAO Yunhui, WANG Duoja, LIU Xiaoxiao*

(Jilin Academy of Agricultural Sciences/Key laboratory of Beef Cattle Genetics and Breeding, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, P.R.China, Changchun 130033, China)

Abstract: To optimize the test conditions of pork TPA analysis by response surface method. Texture analyzer was used to texture profile analysis of pork, and the influence of three test parameters such as test speed, time interval between two depressions, compression ratio on the results of pork texture properties was explored by single factor investigation. On the basis of single factor investigation, response surface methodology with three factors at three levels was adopted to optimize the test conditions of pork TPA analysis. The optimal test conditions were determined by the regression analysis. Test speed had significant effect on cohesiveness, springiness of pork ($P<0.05$), time interval between two depressions had significant effect on cohesiveness, stickiness, chewiness, hardness of pork ($P<0.05$), compression ratio had significant effect on cohesiveness, springiness, stickiness, chewiness, hardness of pork ($P<0.05$), test speed and time interval between two depressions interaction had significant effect on hardness of pork ($P<0.05$), test speed, time interval between two depressions, compression ratio do not hold up to the established model. Box-Behnken design was used to investigate the effects of optimum test conditions for pork TPA analysis were as follows: test speed of 1.42 mm/s, time interval between two depressions of 5.31 s, compression ratio of 50.1%.

Key words: Pork; Texture characteristics; Response surface methodology; Testing conditions; Optimization

质构仪是通过模拟人口腔对食物的咀嚼运动, 通过力学量化的方式来反映食品质地特性的

仪器, 与感官评定相比具有更强的灵敏性和准确性。质地多面剖析法(texture profile analysis, TPA)是研究食品质构特性最常用的一种方法^[1-3]。TPA的测定过程是模仿人口腔咀嚼食物的过程, 通过对探头运动过程中受到的力和时间的图谱进行分析, 可以得到硬度、弹性、凝聚性等质构指标^[4-7], 目前, TPA 在猪肉品质特性的研究中应用广泛^[8-9]。不同的测试条件所获得的曲线和数据结果不

收稿日期: 2023-12-11

基金项目: 吉林省科技发展计划项目(20220404009NC)

作者简介: 刘丽宅(1990-), 女, 助理研究员, 硕士, 主要从事畜产品质量安全研究。

通信作者: 刘笑笑, 女, 硕士, 副研究员, E-mail: 843202215@qq.com

同^[10-12],因此,选择合理的测试条件对猪肉质构特性的评价至关重要^[13]。赵素娟^[14]、张宏博^[15]、杨双^[16]、刘雅娜^[17]、冯岗^[18]等分别对猪肉的质构特性进行研究,但是利用响应面法优化猪肉TPA测试条件的研究较少,因此,本研究利用质构仪对猪肉进行TPA测试,研究测中速度、两次下压间隔时间、压缩比对猪肉TPA质构指标的影响,优化TPA质地评价的测试条件,为建立猪肉质构测试标准提供数据支撑。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

鲜猪肉背最长肌:吉林省农业科学院猪试验场;LLOYD TA1质构分析仪购自云谱仪器(上海)有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 TPA测定特征曲线及相关指标说明

硬度:最大正向力。使肉变形所需要的力,肉所受力的 大小表明肉抵抗形变的能力,是肉保持形状的内部结合力。硬度1:第一次压缩的峰值力。硬度2:第二次压缩的峰值力。凝聚性:第一次压缩和第二次压缩所作的所有功。表示肉发生形变所需要的能量。弹性:第二次压缩开始的样品高度与第一次压缩开始的样品高度比例。肉在外力作用时发生形变,当撤去外力后,恢复原来状态的能力。黏结性:整个试验中最大的负力。肉经过加压变形之后,肉表面若有黏性,会产生负向的力量。可以解释为黏牙性口感。黏性:硬度1除以凝聚力。第一次压缩后探头从肉中拔出来所需要的力,表明肉附着时剥离它所需要的力。咀嚼度:黏性乘以弹性。为咀嚼肉所需的力,用于模拟将肉咀嚼成吞咽时稳定状态所需要的力,即咬劲,反映了肉对咀嚼的持续抵抗性。

1.2.2 单因素试验设计

测试部位选择表面相对平整、质构相对均匀的肉块,切割成80 mm×80 mm×10 mm的规格,被测试的表面积为80 mm×80 mm。采用FG/SCY2探头,每个条件平行测定6个点,去掉最大值与最小值求得平均值。借鉴常海军^[19]、李莹^[20]、赵改名^[21]、胡嘉颖^[22]、张立彦^[23]等对猪肉质构特性的影响测试条件,将基础试验设置为:负载5 gf,测前速度2.0 mm/s;测中速度1.0 mm/s;测后速度1.0 mm/s;两次下压间隔时间5 s;压缩比50%。因为因素水平较多且有需要着重考察的因素,所以分别依次对测中速度、两次下压间隔时间、压缩比3个因素做单因素试验。

根据前人的研究^[24-26]以及预试验结果,试验条件确定为:压缩比为50%,两次下压间隔时间5 s,测中速度为0.5 mm/s、1.0 mm/s、1.5 mm/s、2.0 mm/s、2.5 mm/s;测中速率1.0 mm/s,压缩比为50%,两次下压间隔时间为1 s、3 s、5 s、7 s、9 s;两次下压间隔时间5 s,测中速度1.0 mm/s,压缩比为30%、40%、50%、60%、70%,研究各测试条件对猪肉质构特性相关指标的影响。

1.2.3 响应面优化设计

在单因素研究的基础上,将测中速度(A)、两次下压间隔时间(B)、压缩比(C)3个因素作为自变量,以凝聚性(Y_1)、弹性(Y_2)、黏结性(Y_3)、黏性(Y_4)、咀嚼度(Y_5)、硬度(Y_6)为响应值,根据中心组合设计原理,设计响应面分析试验,其因素与水平编码见表1。

表1 试验因素与水平编码表

编码值	A. 测中速度/mm·s ⁻¹	B. 两次下压间隔时间/s	C. 压缩比/%
1	1.5	6	60
0	1	5	50
-1	0.5	4	40

1.3 数据分析

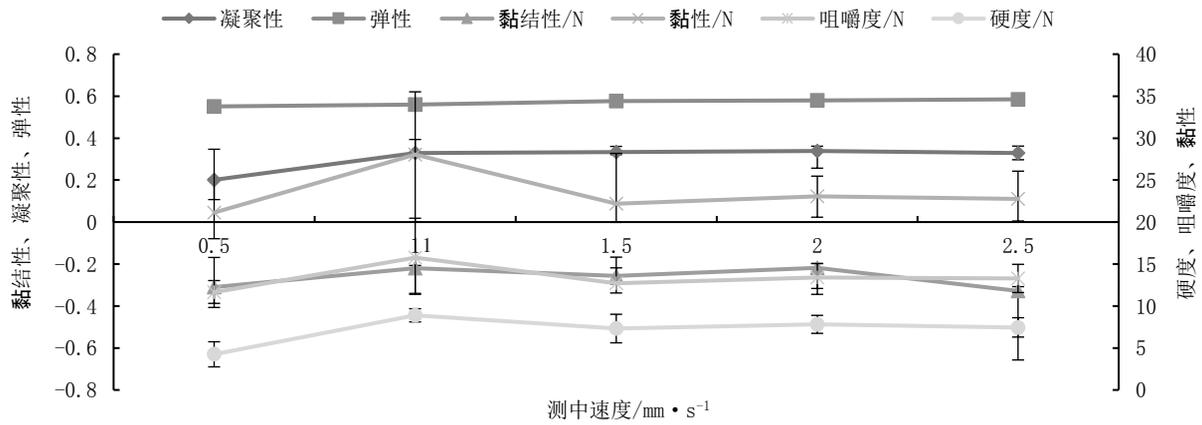
采用Excel 2010进行数据处理、作图、制表,利用Design Expert 7.0.0软件进行Box-Behnken试验设计,并对猪肉TPA测试条件进行优化分析。

2 结果与分析

2.1 单因素试验

2.1.1 测中速度对猪肉质构参数的影响

从图1可以看出,随着测中速度的增大,猪肉的硬度呈现先增大后减小的趋势,在速度为1 mm/s时达到最大值,在速度为0.5 mm/s时达到最小值。咀嚼度呈缓慢增大趋势,在速度为1.0 mm/s时达到最大值。黏结性呈现先增大后减小的趋势,黏性整体呈现增大的趋势,与此同时,测中速度对弹性和凝聚性的影响很小,5种测中速度下猪肉凝聚性、弹性的测试值没有十分明显变化,整体呈缓慢增大的趋势。这可能是由于随着测中速度的增大,会使返回过程中探头感应不到样品的作用力,探头与猪肉样品接触越不完全,对样品的压缩强度越小,越不能准确代表样品的质构特性^[27]。测试速度较小时,探头缓慢作用猪肉样品,猪肉的形变差异较大,探头往上运动时,样品对探头的作用时间较长,使测试结果不准确。因此建议将测中速度设为1 mm/s。



注:同一参数析浅图中标字母表示差异不显著($P>0.05$),肩标小写不同表示差异显著($P<0.05$),下同

图1 测中速度对猪肉质地参数的影响

2.1.2 两次下压间隔时间对猪肉质地参数的影响

由图2可知,两次下压间隔时间对猪肉的弹性、凝聚性影响不显著($P>0.05$),但对黏结性、黏性、咀嚼度、硬度影响显著($P<0.05$),弹性、凝聚性、黏性、咀嚼度、硬度均呈现先增大后减小的趋势。黏结性呈现先减小后增大的趋势,在两次下

压间隔时间为5 s时,弹性、凝聚性、黏性和咀嚼度、硬度均达到最大值,这可能是由于两次下压间隔时间为5 s时使得样品有更足够的时间充分恢复第一次压缩造成的形变,使两次压缩时肉样的内部结构更为接近,故使得测定的数据越能准确代表猪肉的质地特性。

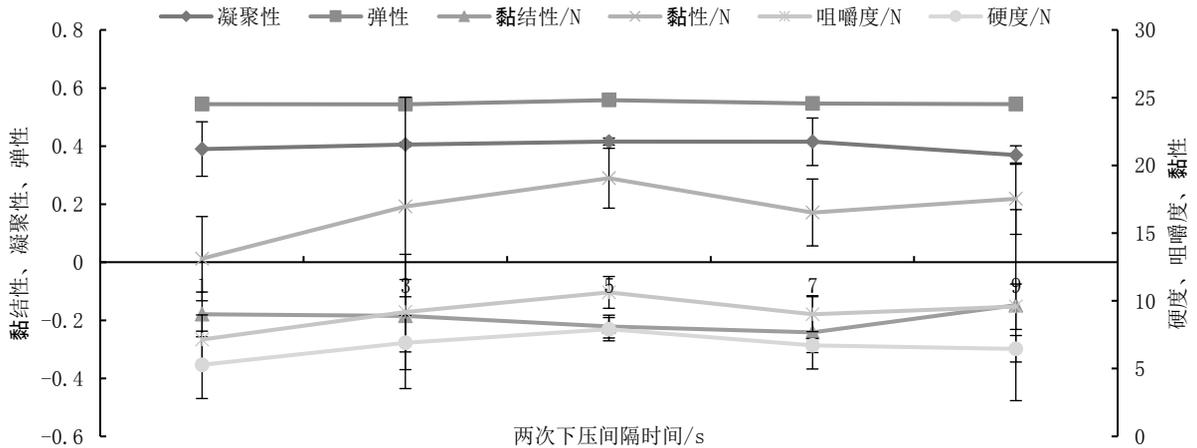


图2 两次下压间隔时间对猪肉质地参数的影响

2.1.3 压缩比对猪肉质地参数的影响

从图3可以看出,猪肉的弹性、凝聚性、咀嚼度、黏性、硬度呈现逐渐增大趋势,且压缩比对弹性、黏结性、凝聚性的影响不显著($P>0.05$),对咀嚼度、黏性、硬度影响显著($P<0.05$)。随着压缩比逐渐增大,猪肉逐渐变质,受压大,组成内部结构的健力也逐渐变小,内部紧密的组织结构遭到破坏,样品出现挤压堆积现象,对探头的抵抗力增大^[24]。因此,硬度值也随之升高,弹力上升,咀嚼度升高。在测试条件里,压缩比是影响最为显著的一个重要指标,选择合适的压缩比对测试结果有着至关重要的影响^[28]。针对本试验,压缩比从

30%增大至40%时各个质地指标逐渐增大,各指标的变异系数最小,测定结果最为稳定。当压缩比为50%时,咀嚼度、黏性、硬度值突然增大,压缩比从50%增大至70%时各个质地指标继续增大,说明猪肉的内部组织结构遭到破坏,因此50%的压缩比可以在确保肉质组织结构不被破坏的同时,测得的各项指标取得最大值。

2.2 响应面试验结果

2.2.1 响应值结果

应用响应面优化法进行过程优化^[29-30]。以A、B、C为自变量,以 Y_1 、 Y_2 、 Y_3 、 Y_4 、 Y_5 、 Y_6 为响应值,响应面设计及其结果见表2。设计3因素3水

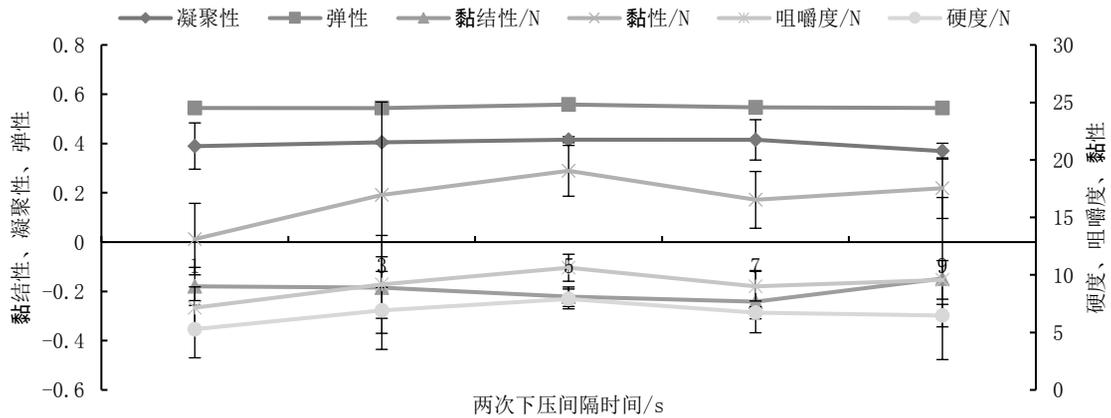


图3 压缩比对猪肉质构参数的影响

表2 试验设计与结果

试验号	A	B	C	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆
1	0	-1	-1	0.33	0.52	-0.23	25.39	13.10	8.34
2	0	1	-1	0.35	0.52	-0.37	36.31	18.81	12.63
3	0	0	0	0.42	0.56	-0.22	19.02	10.62	7.92
4	-1	0	1	0.36	0.53	-0.24	21.70	11.45	7.84
5	0	-1	1	0.35	0.56	-0.19	18.10	10.05	6.37
6	1	-1	0	0.42	0.56	-0.28	21.18	11.77	8.85
7	1	0	-1	0.43	0.54	-0.11	21.23	11.43	9.05
8	1	0	1	0.43	0.57	-0.15	16.56	9.46	7.13
9	0	0	0	0.43	0.56	-0.22	18.38	10.26	7.82
10	0	0	0	0.43	0.56	-0.22	18.28	10.21	7.94
11	0	0	0	0.42	0.55	-0.22	19.03	10.43	7.91
12	0	0	0	0.41	0.55	-0.22	22.96	12.04	8.95
13	-1	0	-1	0.35	0.53	-0.38	20.61	10.91	7.13
14	-1	-1	0	0.34	0.53	-0.41	27.68	14.76	9.41
15	-1	1	0	0.35	0.56	0.30	26.54	14.77	9.39
16	1	1	0	0.48	0.58	-0.20	29.23	16.86	13.93
17	0	1	1	0.43	0.54	-0.21	22.97	12.34	9.89

平 17 组响应面试验。

2.2.2 回归方程及方差分析结果

通过统计分析软件 Design-Expert 7.0.0 进行数据分析,建立二次响应面回归模型如下:

$$Y_1 (\text{凝聚性}) = 0.42 + 0.044A + 0.02B + 0.016C + 0.011AB - 0.002793AC + 0.015BC + 0.001762A^2 - 0.025B^2 - 0.031C^2$$

$$Y_2 (\text{弹性}) = 0.55 + 0.012A + 0.003548B + 0.011C - 0.00415AB + 0.008548AC - 0.004975BC + 0.005630A^2 - 0.004368B^2 - 0.018C^2$$

$$Y_4 (\text{黏性}) = 19.54 - 1.04A + 2.84B - 3.03C + 2.30AB - 1.44AC - 1.51BC + 0.48A^2 + 6.14B^2 + 0.013C^2$$

$$Y_5 (\text{咀嚼度}) = 10.71 - 0.30A + 1.64B - 1.37C + 1.27AB - 0.63AC - 0.85BC + 0.53A^2 + 3.29B^2 - 0.43C^2$$

$$Y_6 (\text{硬度}) = 8.11 + 0.65A + 1.61B - 0.74C + 1.28AB - 0.66AC - 0.19BC + 0.38A^2 + 1.90B^2 - 0.70C^2$$

回归分析与方差分析结果见表3。猪肉凝聚

性所建立的回归模型 $F=12.82, P<0.01$, 表明所采用的二次模型在统计学上是有意义的。因素 A、B、C、B²、C² 差异显著 ($P<0.05$), 说明测中速度、压缩比例和两次下压间隔时间均对猪肉凝聚性有显著影响。猪肉弹性所建立的回归模型中 $F=4.82, P<0.05$, 表明二次模型在统计学上是有意义的。因素 A、C、C² 差异显著 ($P<0.05$), 说明测中速度和压缩比对猪肉弹性有显著影响。猪肉黏结性所建立的回归模型中 $F=1.37, P>0.05$, 表明该二次模型不成立。猪肉黏性所建立的回归模型中 $F=4.39, P<0.05$, 表明二次模型在统计学上是有意义的。因素 B、C、B² 差异显著 ($P<0.05$), 说明两次下压间隔时间、压缩比对猪肉黏性有显著影响。猪肉咀嚼度所建立的回归模型中 $F=12.95, P<0.05$, 表明

表3 回归与方差分析结果

响应值名称	方差来源	F值	P值	决定系数(R ²)	显著性
凝聚性	模型	12.82	0.001 4	0.942 8	**
	A	60.61	0.000 1		**
	B	14.35	0.006 8		**
	C	7.81	0.026 7		*
	B ²	10.02	0.015 8		*
	C ²	15.58	0.005 6		**
弹性	失拟项	4.24	0.098 5	0.861 0	不显著
	模型	4.82	0.025 1		*
	A	11.54	0.011 5		*
	C	10.38	0.014 6		*
黏结性	C ²	14.33	0.006 8	0.859 5	**
	失拟项	6.27	0.054 2		不显著
	模型	1.37	0.315 2		不显著
黏性	模型	4.39	0.032 0	0.892 3	*
	B	7.34	0.030 2		*
	C	8.34	0.023 4		*
	B ²	18.09	0.003 8		**
咀嚼度	失拟项	4.07	0.104 3	0.926 4	不显著
	模型	6.44	0.011 3		*
	B	12.95	0.008 8		**
	C	9.02	0.019 8		*
	B ²	27.57	0.001 2		**
	失拟项	5.34	0.069 7		不显著
硬度	模型	9.79	0.003 3	0.926 4	**
	B	33.47	0.000 7		**
	C	7.08	0.032 4		**
	AB	10.51	0.014 2		**
	B ²	24.66	0.001 6		**
	失拟项	5.12	0.074 3		不显著

注：“**”表示差异极显著($P<0.01$)；“*”表示差异显著($P<0.05$)； $P>0.05$ 表示差异不显著

二次模型在统计学上是有意义的。因素B、C、B²差异显著($P<0.05$),说明两次下压间隔时间、压缩比对猪肉咀嚼度有显著影响。猪肉硬度所建立的回归模型中 $F=6.44$, $P<0.01$,表明二次模型在统计学上是有意义的。因素B、C、AB、B²差异显著($P<0.05$),说明两次下压间隔时间、压缩比、测中速度与两次下压间隔时间的交互作用对猪肉硬度有显著影响。失拟项检验的 P 值均大于0.05,表现为不显著,说明模型拟合度良好。决定系数R²均大于0.85,说明因变量与考察的响应值之间线性关系显著。综上所述,以上方程可以较好地预测分析凝聚性、弹性、咀嚼度、黏性、硬度5个响应值的变化规律。

2.2.3 响应面交互与优化

通过回归模型绘制试验因素之间的交互作用的响应面图见图4~图6。

由图4可知,测中速度和两次下压间隔时间对凝聚性、弹性、黏性、咀嚼度、硬度的影响。当两次下压间隔时间一定时,随着测中速度的增大凝聚性、弹性逐渐增大,黏性、咀嚼度、硬度逐渐减小。当测中速度一定时,随着两次下压间隔时间的延长,凝聚性、弹性呈现先增大后减小的趋势,黏性、咀嚼度、硬度呈现先减小后增大的趋势。且在较低测中速度时,黏性、咀嚼度、硬度达到较大值,较高测中速度时,凝聚性、弹性达到较大值。两次下压间隔时间取中间值时,凝聚性、弹性达到较大值,两次下压间隔时间取最大值时,黏性、咀嚼度、硬度达到最大值。方差分析表明测中速度和两次下压间隔时间 $P<0.05$,说明测中速度与两次下压间隔时间的交互作用对猪肉硬度有显著影响。

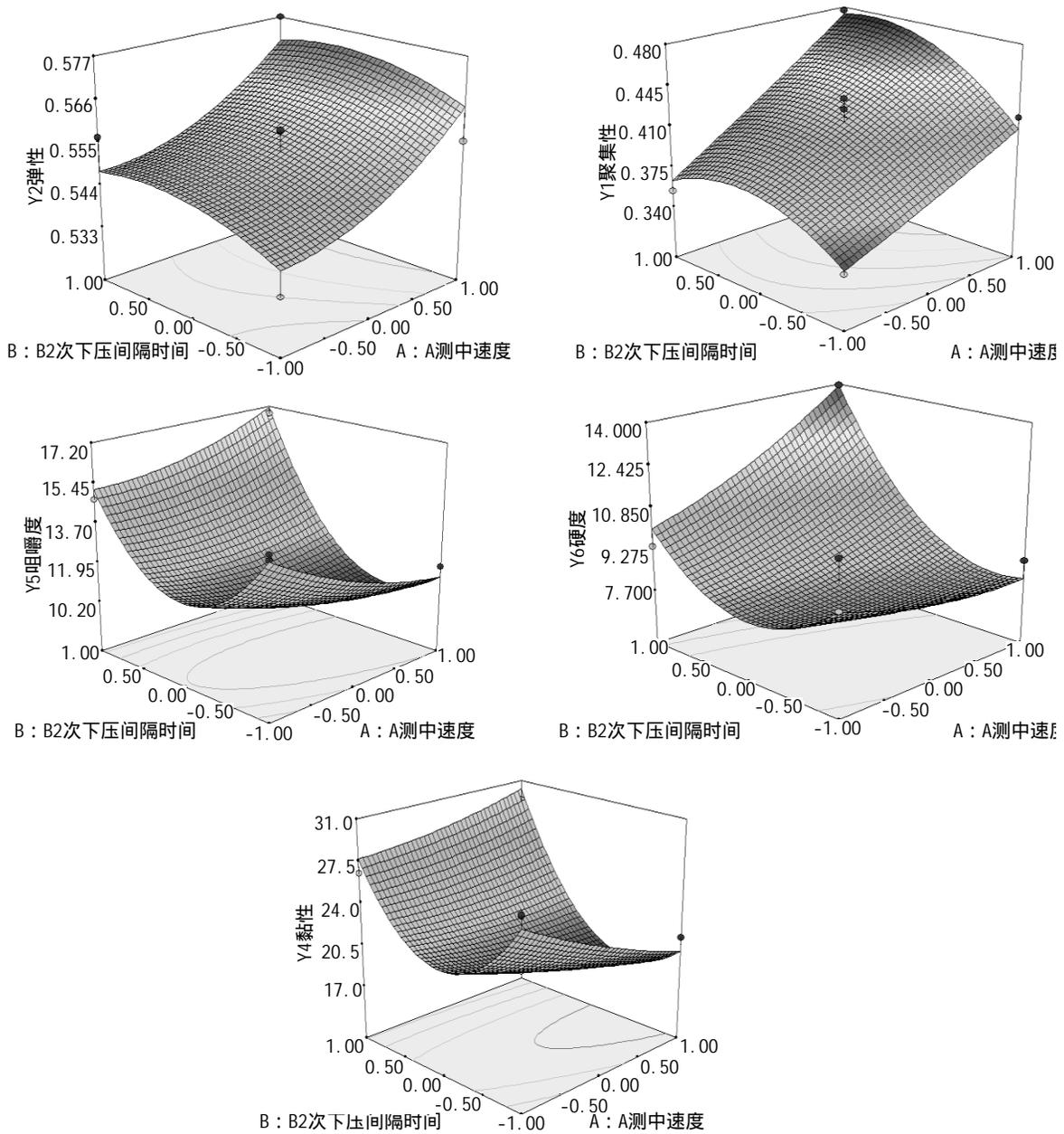


图4 测中速度和两次下压间隔时间对猪肉凝聚性、弹性、黏性、咀嚼度、硬度的影响

由图5可知,测中速度和压缩比对凝聚性、弹性、黏性、咀嚼度、硬度的影响。当测中速度一定时,随着压缩比的增大,凝聚性、弹性、硬度呈现先增大后减小的趋势,黏性、咀嚼度变化趋势比较复杂,无规律。当压缩比一定时,随着测中速度的增大,凝聚性、弹性、黏性、咀嚼度、硬度逐渐增大。且在较高测中速度时,黏性、咀嚼度、硬度达到较大值,测中速度达到中间值时,凝聚性、弹性达到较大值,压缩比取中间值时,黏性、咀嚼度、硬度达到较大值。

由图6可知,两次下压间隔时间和压缩比对凝聚性、弹性、黏性、咀嚼度、硬度的影响。当两次下压间隔时间一定时,随着压缩比的增大,凝

聚性、弹性、硬度先增大后减小,黏性、咀嚼度变化趋势较小。当压缩比一定时,随着两次下压间隔时间延长,凝聚性、弹性呈现先增大后减小的趋势,黏性、咀嚼度、硬度呈现先减小后增大的趋势。且两次下压间隔时间、压缩比达到中间值时,凝聚性、弹性达到较大值,两次下压间隔时间、压缩比达到较大值时,黏性、咀嚼度、硬度值较大。

结合模型和响应面曲线图分析,利用 Design Expert 7.0.0 软件对所得回归方程进行分析求解,所得的最佳测试条件为:测中速度 1.42 mm/s、两次下压间隔时间 5.31 s、压缩比 50.1%,此条件下由响应面分析得到猪肉质构特性相关指标理论值

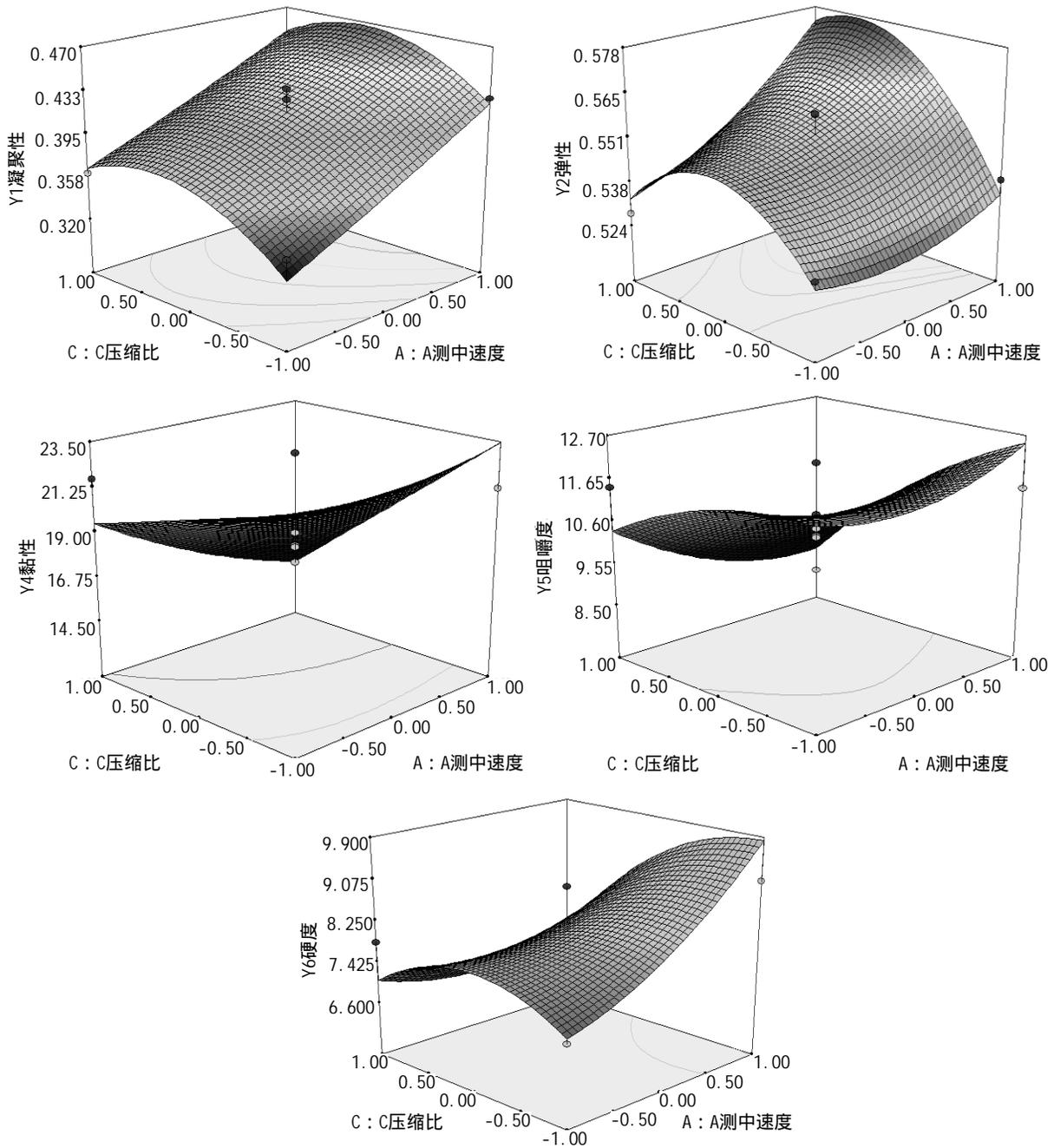


图5 测中速度和压缩比对猪肉凝聚性、弹性、黏性、咀嚼度、硬度的影响

分别为：凝聚性 0.38、弹性 0.54、黏结性 -0.23 N、黏性 22.98 N、咀嚼度 12.51 N、硬度 8.89 N。按此条件进行 3 次重复试验，结果取平均值，所得猪肉质构特性测定指标结果分别为：凝聚性 0.39、弹性 0.54、黏结性 -0.23 N、黏性 22.71 N、咀嚼度 12.02 N、硬度 8.57 N，在此条件下猪肉质构特性相关指标测定结果与理论值接近，说明通过响应面优化得到的最佳测试参数有效、可靠。

3 结论

本试验研究了测中速度、两次下压间隔时间、压缩比对凝聚性、弹性、黏结性、黏性、咀嚼度、硬

度的影响。结果表明测中速度对猪肉凝聚性、弹性有显著影响，两次下压间隔时间对凝聚性、黏性、咀嚼度、硬度有显著影响，压缩比对猪肉凝聚性、弹性、黏性、咀嚼度、硬度有显著影响，测中速度与两次下压间隔时间的交互作用对猪肉硬度有显著影响，测中速度、两次下压间隔时间、压缩比对黏结性所建立的二次模型不成立。压缩比对猪肉质构特性的影响比较大。通过响应面 Box-Behnken 分析法对猪肉质构的 TPA 测试参数进行优化，最佳测试条件为：测中速度 1.42 mm/s、两次下压间隔时间 5.31 s、压缩比 50.1%，在此条件下猪肉的质构测定结果接近理论值，本研究对猪肉

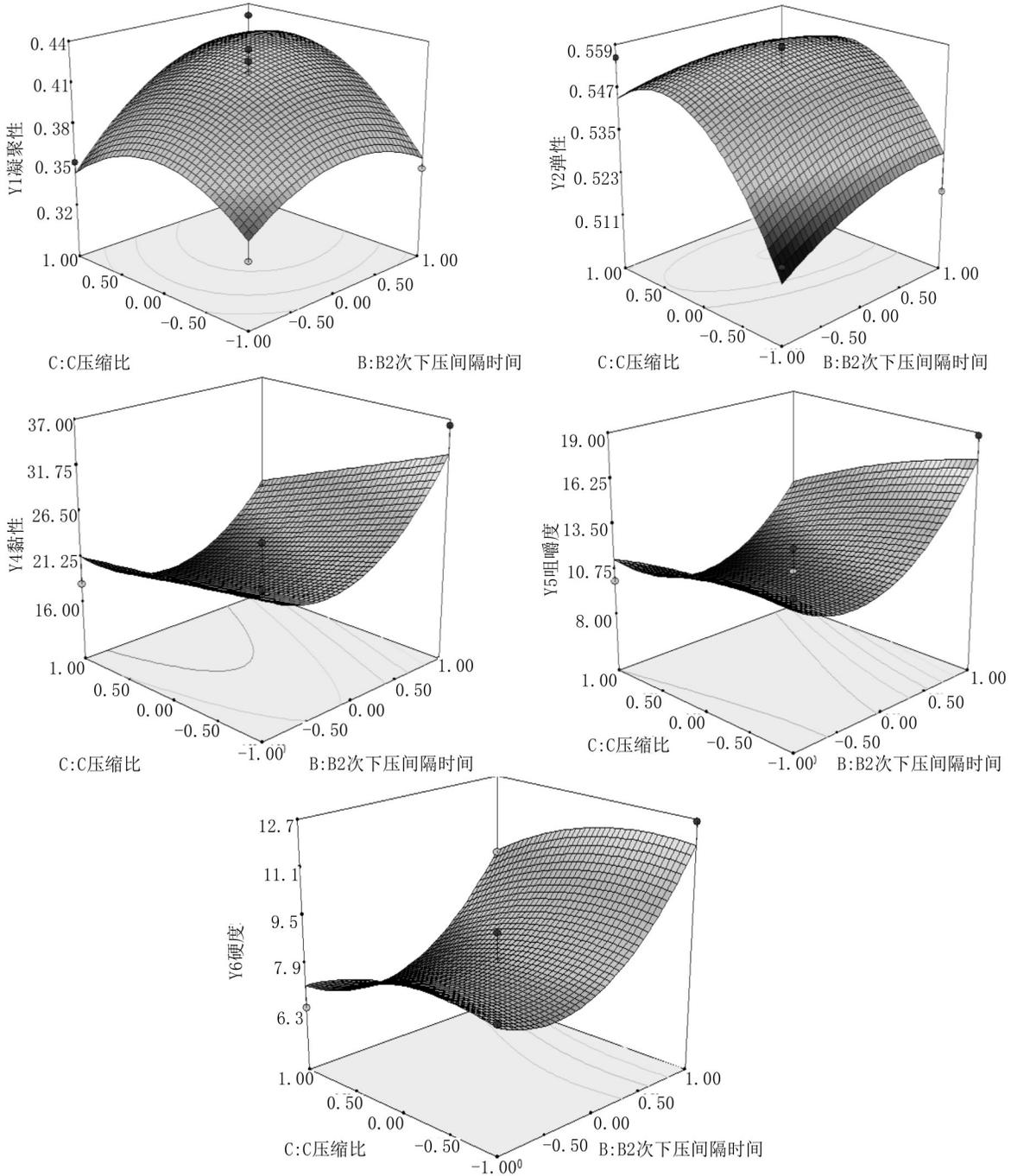


图6 两次下压间隔时间和压缩比对凝聚性、弹性、黏性、咀嚼度、硬度的影响

质构特性的研究有一定的指导意义。

参考文献:

[1] Yilmaz M T, Karaman S, Dogan M, et al.Characterization of O/W model system meat emulsions using shear creep and creep recovery tests based on mechanical simulation Models and their correlation with texture profile analysis (TPA) parameters[J]. Journal of Food Engineering, 2012, 108(2): 327-336.

[2] 田志刚,孙洪蕊,刘香英,等.酶制剂对马铃薯面包品质的影响[J].东北农业科学,2019,44(5):103-106.

[3] Chenghai L, Xianzhe Z, Ningye D. Principal Component Analysis of Cooked Rice Texture Qualities[J]. Journal of Northeast Ag-

ricultural University, 2008, 15(1): 70-74.

[4] A El-Beltagy, G R Gamea, A H Amer Essa. Solar drying characteristics of strawberry[J]. Journal of Food Engineering, 2005, 78(2): 456-464.

[5] Lina S S. Objective measurements of food texture [J]. Food Science, 1962, 28: 410.

[6] N Kaneki, T Miura, K Shimada, et al. Measurement of pork freshness using potentiometric sensor[J]. Talanta, 2004 62(1): 215-217.

[7] 张馨木.质构仪测定冷鲜肉新鲜度方法的研究[D].长春:吉林大学,2012.

[8] 陈磊,王金勇,李学伟.仪器测定的猪肉质构性状与感官性

- 状的回归分析[J].农业工程学报,2010,26(6):357-362.
- [9] 许沙沙,周志,朱照武,等.3种猪肉的品质分析[J].食品科学,2015,36(23):127-130.
- [10] Yu X F, Ma M H, Yang F, et al.Effects of deformation rate and degree of compression on texture profile analysis of hard-boiled egg[J].Journal of Food Science, 2010, 31(21): 147-151.
- [11] Wu C, Jia Z, Huang J, et al.Reduced nitrite and biogenic amine concentrations and improved flavor components of Chinese sauerkraut via co-culture of *Lactobacillus plantarum* and *Zygosaccharomyces rouxii* [J]. Annals of Microbiology, 2014, 64(2): 847-857.
- [12] Kim S H, Kang K H, Kim S H, et al.Lactic acid bacteria directly degrade N-nitrosodimethylamine and increase the nitrite-scavenging ability in kinchi[J]. Food Control, 2017, 71: 101-109.
- [13] 杨莹莹,贺红军,郭萌萌,等.响应面法分析TPA测试参数对酸奶质构的影响[J].现代食品科技,2013,29(6):1281-1284.
- [14] 赵素娟,刘林,郭登峰,等.不同饲喂方式对猪肉品质和风味的影响[J].食品与发酵工业,2018,44(5):194-200.
- [15] 张宏博.宰前因素和宰后处理对商品猪生长发育、屠宰及胴体质量和猪肉品质影响的研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2015.
- [16] 杨双.复方中药添加剂对猪生长性能和肉品质的影响[D].南昌:江西农业大学,2020.
- [17] 刘雅娜,王文君,苏里阳,等.质构仪评定牛羊肉新鲜度研究[J].食品工业,2016,37(8):154-157.
- [18] 冯岗.太×陆F,代与北京黑猪肉质特性研究[D].兰州:甘肃农业大学,2013.
- [19] 常海军,唐翠,唐春.不同解冻方式对猪肉品质特性的影响[J].食品科学,2014,35(10):1-5.
- [20] 李莹,张伟敏,黄海珠,等.三种猪肉质构特性比较研究[J].食品研究与开发,2018,39(10):22-27.
- [21] 赵改名,秦可梦,李佳麒,等.不同部位新疆褐牛肉的品质差异分析[J].肉类研究,2021,35(1):1-6.
- [22] 胡嘉颖.原料水分对熟化猪肉品质特性的影响及机制研究[D].广州:华南理工大学,2016.
- [23] 张立彦,胡嘉颖.水分和温度对猪肉质构及感官品质的影响[J].现代食品科技,2016,32(9):216-223.
- [24] 李瑜,谷文荣,李娜,等.优选萝卜质构剖面分析测试参数[J].食品与发酵工业,2014,40(9):176-179.
- [25] 廖彩虎,钟瑞敏,黄国清,等.真空预冷处理对新鲜猪肉品质影响的研究[J].现代食品科技,2013,29(3):510-512,482.
- [26] 朱津津,潘治利,谢新华,等.汤圆TPA质构特性测试条件的优化[J].食品科学,2013,34(6):171-174.
- [27] 孙承锋,魏帅,辛全龙,等.响应面法研究测试条件对熏煮火腿质构特性值的影响[J].食品工业,2014,35(3):7-10.
- [28] 郎凯红,周显青,张玉荣.测试条件对大米凝胶质构特性测定结果的影响[J].粮食与饲料工业,2012(11):1-4.
- [29] H N Sin, S Yusof, N Sheikh Abdul Hamid, et al. Optimization of enzymatic clarification of sapodilla juice using response surface methodology[J]. Journal of Food Engineering, 2006, 73(4): 313-319.
- [30] 柴美灵,李娜,乔宏萍,等.Box-Behnken法优化甘草多糖提取工艺及其体外抗氧化活性分析[J].食品工业科技,2021,42(23):192-200.

(责任编辑:王 昱)