

木瓜蛋白酶嫩化鹿肉方法的研究

李丽杰, 杨志华*

(内蒙古农业大学食品科学与工程学院, 内蒙古呼和浩特 010018)

摘要:对木瓜蛋白酶嫩化鹿肉的工艺参数进行研究。采用不同浓度的酸性蛋白酶(0.02%、0.03%、0.04%)、不同处理时间(30、60、90min)对鹿肉进行嫩化,研究其嫩化效果。对酶法嫩化鹿肉的剪切力、咀嚼力、弹性、pH、游离氨基酸含量进行测定。结果表明,木瓜蛋白酶法嫩化鹿肉后,剪切力值、咀嚼力值显著降低($p<0.01$),其降幅几乎都在50%以上;pH升高,且极显著($p<0.01$);游离氨基酸含量显著增加,且极显著($p<0.01$)。最佳嫩化条件为:酶浓度0.04%,处理时间60min。咀嚼力值与剪切力值存在正相关关系($r=0.9721$),游离氨基酸含量与剪切力值之间存在负相关关系($r=-0.9356$)。
关键词:鹿肉,木瓜蛋白酶,嫩度

Study on papain venison tenderizing methods

LI Li-jie, YANG Zhi-hua*

(College of Food Science and Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010018, China)

Abstract: The work was to study the processing parameters of venison tenderization method, namely papain tenderizing. The effects of papain tenderizing were evaluated by different concentrations of acid proteinase (0.02%, 0.03% and 0.04%) and different processing time (30, 60, and 90min). As for the enzymatic venison tenderizing, results of shear stress, masticatory forces, elasticity, pH, and the free amino acid contents indicated that the values of shear stress and masticatory forces declined significantly ($p<0.01$) and fell by more than 50%, pH and the free amino acid contents increased significantly ($p<0.01$). The optimal papain tenderizing conditions were as follows: enzyme concentration 0.04%, processing time 60min. In addition, there existed the positive relation between the values of masticatory forces and shear stress ($r=0.9721$), and the negative relation between the free amino acid contents and shear stress ($r=-0.9356$).

Key words: venison; papain; tenderness

中图分类号: TS251.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2015)06-0216-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2015.06.040

鹿肉是高极野味,瘦肉多、结缔组织少,可烹制多种菜肴。鹿肉含有较丰富的蛋白质、无机盐、糖和一定量的维生素,人对鹿肉的消化利用率比其他家畜肉高,鹿肉味道纯正,肉质鲜嫩细致,是具有滋补强壮作用的肉类^[1]。许多学者测定了鹿肉中的水分、蛋白质、脂肪、碳水化合物、矿物质的含量及热量。鹿肉的经济价值和营养价值比牛羊肉高,是由鹿体的低脂肪决定的^[2-3]。赵殿生报道了鹿肉和其他肉食化学成分和发热量的比较。结果表明,鹿肉的蛋白质含量仅次于鸡肉、兔肉,而超过牛、羊、鹅、鸭肉。鹿肉的脂肪含量比牛、羊、猪肉的含量均低,发热量为上述肉类之最低者。矿物质含量超过鸡肉和兔肉,为上述肉类中最高者^[4]。

鹿肉的嫩化是改善鹿肉品质经常采用的方法^[5]。酶嫩化方法在牛肉的嫩化中广泛应用,嫩化时先将蛋白酶配成水溶液,在屠宰放血后用压力注射器将酶液注入屠畜体内,或者在屠前将酶液注射到血液

系统,也可将肉块浸入酶液中以达到嫩化的目的。

张秀莲报道了鹿肉脱腥和嫩化的具体方法为:中性木瓜蛋白酶用温水完全溶解后,加入豆油搅拌至完全乳化,静止冷却后加入环状糊精搅拌至完全乳化,在均质机内在15~20MPa下进行均质^[6]。高贵报道鹿肉嫩化处理方法是将处理好的鹿肉置于嫩化缸里,添加0.45%~0.75%的中性木瓜蛋白酶、0.55%~0.75%的三聚磷酸盐、0.40%~0.60%的环状糊精,同时调整原料的pH为6.2~6.5,在4~6℃下处理2~4h^[7]。尚志远考察了超高压对于马鹿肉的影响,通过对TPA指标的测定发现,硬度、胶着性、咀嚼性、恢复性等均在300MPa时达到最大。得出在超高压压力291MPa,保压时间18min,物料温度13.2℃时,实验结果最优,剪切力的值为4727.31g^[8]。

目前饲养的鹿很多用于鹿茸的应用,但是由于鹿茸成熟所需要饲养的时间较长,鹿肉相对较硬,所以如何提高鹿肉的嫩度及延长鹿肉的贮藏性的研究

收稿日期: 2014-06-23

作者简介: 李丽杰(1978-),女,硕士研究生,讲师,主要从事食品分析与检测方面的研究。

* 通讯作者: 杨志华(1963-),男,硕士研究生,副教授,主要从事食品添加剂方面的研究。

是十分必要的。本实验对木瓜蛋白酶嫩化鹿肉工艺参数进行确定,旨在为今后进一步的理论研究和生产开发提供必要的实验依据和可靠的应用参数。为进一步开发利用鹿肉做产品提供一定的参考,希望能应用于实践中,以创造经济价值。

1 材料与方

1.1 材料与仪器

马鹿 来自内蒙古大圣生物技术有限责任公司(5岁,210kg),当日现宰,取下双侧后腿半腱肌,去除筋腱及结缔组织后,顺肌纤维分割成50g的肉块,进行真空包装(聚乙烯/聚酰胺复合膜,92kPa),随机编号后,置于0~4℃条件下保存,待用;木瓜蛋白酶(20万U/g)肇东市日成酶制剂有限公司;碘酸钾、磷酸二氢钾、氢氧化钠、磷酸氢二钾 北京化学试剂厂,分析纯;氨基酸标准液(色谱纯,98%)、茚三酮(分析纯) 天津市化学试剂三厂。

UHPT-750MPa型超高压食品处理装置 包头科兴新型高技术食品机械有限公司;DHG-9075A型电热恒温干燥箱 上海一恒科技有限公司;T6型新悦紫外可见分光光度计 北京普析通用仪器有限责任公司;Sartorius cp2245型电子天平 德国;TM-900型封口机 济南东泰机械设备有限公司;Brookfield QTS25质构仪 美国;TG16-WS型台式高速离心机 湖南长沙湘仪离心机仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 鹿肉嫩化处理的方法 前处理好待用的鹿肉,用浓度为0.02%、0.03%、0.04%的木瓜蛋白酶处理,作用时间分别为30、60、90min,作用温度为37℃,用均匀注射法进行嫩化。用质构仪测定其剪切力、咀嚼力和弹性^[9-10]、pH、游离氨基酸含量。实验设计如表1所示。

表1 木瓜蛋白酶处理实验设计

Table 1 The experiment design of papain treatment

水平	因素	
	A 浓度(%)	B 时间(min)
1	0.02	30
2	0.03	60
3	0.04	90

1.2.2 剪切力、咀嚼力和弹性的测定 嫩化结束后,将鹿肉块取出,置沸水中蒸煮至中心温度75℃时,取出至冷水中冷却至室温,将鹿肉切成2cm×2cm×2cm的方块状,用质构仪测定其剪切力、咀嚼力和弹性。测定时,沿肌纤维垂直方向压缩样品高度的35%。每组取3个样进行测定,取平均值。质构参数的设定:接触样品前速度为5mm/s;测试速度为2mm/s;测试结束后速度为2mm/s;压缩高度为35%;时间为5s;接触到样品5g力时计数;圆柱形探头直径为50mm^[11-13]。

1.2.3 pH的测定 按参考文献[14]的方法进行测定。

1.2.4 游离氨基酸含量的测定

1.2.4.1 标准曲线的绘制 准确吸取200μg/mL的甘氨酸标准溶液0.0、0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、3.0mL(相当于0、100、200、300、400、500、600μg甘氨酸),分别置

于25mL容量瓶,各加水补充至容积为4.0mL,然后加入2%的茚三酮和pH8.04的磷酸缓冲溶液各1mL,混合均匀,于水浴上加热15min,取出后迅速冷却至室温,加水至刻度,摇匀。静置15min后,在570nm波长下,以试剂空白为参比溶液测定其余各溶液的吸光度值A。以甘氨酸的含量(微克数)为横坐标,吸光度值A为纵坐标,绘制标准曲线^[15]。

1.2.4.2 游离氨基酸含量的确定 准确称取一定量的鹿肉,经组织捣碎机捣碎后,置于烧杯中,加入50mL蒸馏水和5g左右活性炭,加热煮沸,过滤,用30~40mL热水洗涤活性炭,收集滤液于100mL容量瓶中,加水至刻度,摇匀备测。吸取澄清的样品溶液1~4mL,按标准曲线制作步骤,在相同条件下测定吸光度A值,利用标准曲线计算出对应游离氨基酸含量。

2 结果与讨论

2.1 不同酶浓度与处理时间对鹿肉剪切力、咀嚼力和弹性的影响

鹿肉的剪切力值是反映鹿肉嫩度的重要指标,通过测定嫩化前后剪切力值,可反映鹿肉嫩化效果。

表2 剪切力、咀嚼力和弹性的测定结果

Table 2 The results of shear stress, masticatory forces and elasticity

实验号	A	B	剪切力值(kg)	咀嚼力值(g·mm ⁻¹)	弹性
1	1	1	3.29±0.45	8054.56±456.54	19.91±0.54
2	1	2	2.72±0.12	6897.59±721.30	19.89±1.32
3	1	3	2.38±0.08	6254.13±842.11	19.95±0.78
4	2	1	2.77±0.14	7087.41±289.48	19.93±1.01
5	2	2	2.00±0.04	5517.84±198.34	19.90±0.18
6	2	3	1.83±0.11	5022.31±654.54	19.98±0.45
7	3	1	2.12±0.20	5792.75±621.34	19.90±0.26
8	3	2	1.33±0.09	4435.93±221.38	19.92±1.19
9	3	3	1.16±0.32	3871.21±439.12	19.95±0.98
对照组			6.32±0.23	17586.36±1635.21	18.75±2.12

从表2可以看出,经过处理后的鹿肉的剪切力值与对照组比较,显著降低,减小值均大于3kg,且极显著($p < 0.01$)。经过嫩化后的鹿肉,其剪切力值降幅较大,降幅几乎都超过了50%,其中第9组剪切力值最小,仅为1.16kg,剪切力值减小了5.16kg,降幅为81.7%。而第一组剪切力值降幅最小,为47.9%。经过嫩化后的鹿肉的咀嚼力值显著减小,减小值都在9000g·mm⁻¹以上,且极显著($p < 0.01$),降幅都在50%以上,其中第9组咀嚼力值减小值最大,为13715.15g·mm⁻¹,降幅为78%。嫩化效果比较明显。这是因为在酶作用下,肌原纤维上Z线弱化和降解,使肌节断裂,肌原纤维的横向交联被破坏,使肌原纤维小片化。同时胶原蛋白被水解,降低了其本身强度和对肌纤维的束缚,从而使肉的剪切力值降低^[16]。

从图1可以看出,在处理时间固定的情况下,随着酶浓度的增加,鹿肉的剪切力值在不断减小,且减小值都较显著($p < 0.01$)。这主要是因为酶浓度适宜的

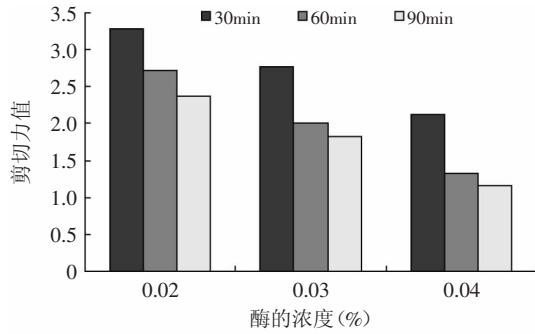


图1 不同酶浓度与处理时间下鹿肉剪切力值的变化
Fig.1 The change of shear stress at different enzyme concentration and processing time

范围内,随着酶浓度的增加,鹿肉能够与酶更多的接触,使得酶与底物(鹿肉)形成的中间产物浓度越大,反应速度也越快,效果越好。但参考牛肉嫩化的资料表明,当木瓜蛋白酶的用量为0.05%时,牛肉的剪切力反而增大,嫩度降低,可能是因为酶增加导致肌肉纤维间的空隙太大而不能保持住水分或者是使牛肉中某些老化物质增加的缘故^[9]。并且鹿肉比牛肉明显柔软,所以用木瓜蛋白酶嫩化鹿肉的浓度应该小于0.05%。

在固定酶浓度下,随着嫩化时间延长,鹿肉的剪切力值在不断减小。嫩化时间由30~60min时,鹿肉的剪切力值降低较快,这可能是因为随着处理时间的增加,酶能够与鹿肉充分接触,使蛋白质水解产物和肌原纤维小片化产物增加,从而使其剪切力值显著降低;而由60~90min时,鹿肉的剪切力值降低较慢。可能是随着时间的延长,蛋白质酶水解产生的产物,使pH升高,对酸性蛋白酶的活产生一定的影响所致。

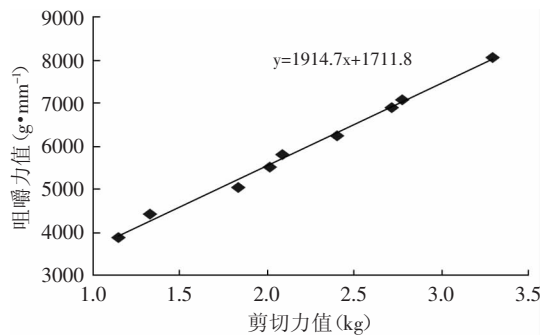


图2 剪切力与咀嚼力的相关性
Fig.2 The correlation of the shear stress masticatory forces

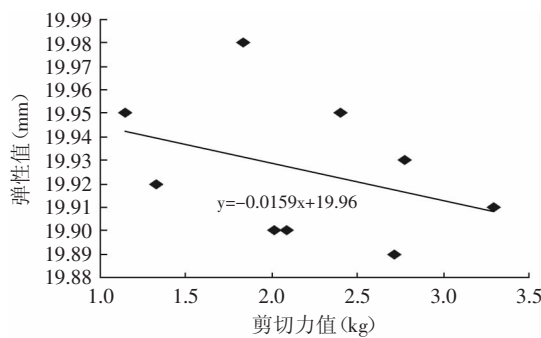


图3 剪切力与弹性的相关性
Fig.3 The correlation of the and shear stress and elasticity

由实验结果可知,鹿肉的咀嚼力值随剪切力值的减小而减小,经过相关性分析,相关系数 $r(=0.9721)$ 极显著($p<0.01$),其相关性关系如图2所示,所以咀嚼力值与剪切力值存在正相关关系;而鹿肉弹性值变化较小,这可能主要是因为鹿肉的弹性主要与肉的自身的品质有主要关系。也可能是肉类在0~4℃条件下冷藏时,肉的表面会因乳酸菌等细菌的缓慢作用而产生粘性,这种粘性会影响弹性数据。且经过相关性分析,相关系数 $r(=-0.0071)$ 不显著,其相关性关系如图3所示,所以弹性值与剪切力值相关性不大。

2.2 不同酶浓度与处理时间下pH测定的结果

2.2.1 木瓜蛋白酶嫩化对鹿肉pH的影响 从表3可以看出,经过酸性蛋白酶水解后的鹿肉的pH均有不同程度的上升,且升高值均在0.29以上,且极显著($p<0.01$)。

表3 木瓜蛋白酶嫩化对鹿肉pH的影响
Table 3 The impact of papain tenderizing on pH value of venison

实验号	pH	增加值(Δ pH)
1	5.92±0.22	0.47
2	5.88±0.51	0.43
3	5.91±0.26	0.46
4	5.87±0.18	0.42
5	5.82±0.31	0.37
6	5.95±0.05	0.50
7	5.84±0.56	0.39
8	5.84±0.21	0.39
9	5.74±0.14	0.29
对照组	5.45±0.31	

2.2.2 鹿肉pH与剪切力的相关性分析 由实验结果发现,并非鹿肉的pH的增加值越大,嫩化效果越好,如在第6实验组中,其pH增加值最大,但其嫩化效果却不是最好;在第9实验组中,pH增加值最小,而它的嫩化效果却最好。且经过相关性分析,相关系数 $r(=0.5901)$ 不显著,其相关性关系如下图4所示,所以pH同鹿肉剪切力值的相关性不大。这是因为酶法水解蛋白对氨基酸没有破坏作用,但一种酶只能使其发生部分水解,水解的部位不同,导致水解液中各游离氨基酸含量差别很大,所以pH的增加值不同。

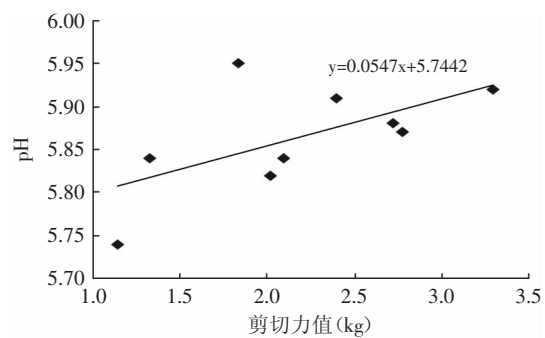


图4 剪切力与pH的相关性关系
Fig.4 The correlation of the shear stress and pH value

2.3 不同酶浓度与处理时间下游离氨基酸含量的测定结果

绘制的标准曲线如下图5所示。

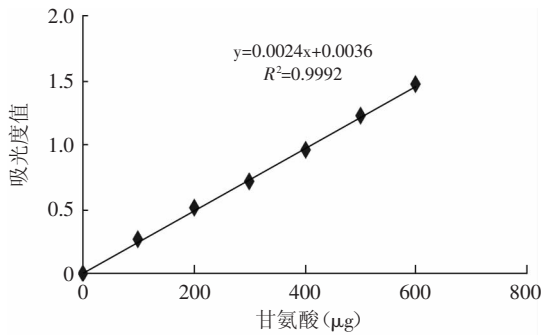


图5 甘氨酸的标准曲线

Fig.5 The standard curve of glycine

由测得的样品溶液的吸光度值可以计算出鹿肉酶水解液中的游离氨基酸含量,如表4所示。

氨基酸是食品中最重要的营养元素之一。由表4可知,鹿肉由于酶的作用,游离氨基酸含量显著增加,经过酶水解后的鹿肉氨基酸的含量比对照组的氨基酸含量均有不同程度的提高,且极显著 ($p < 0.01$)。如第9组的氨基酸含量最多,其嫩度的降幅也最大。经过相关性分析,相关系数 r ($r = -0.9356$) 极显著 ($p < 0.01$),其相关性关系如图6所示,所以游离氨基酸含量与剪切力值之间存在极显著的负相关关系,即剪

表4 鹿肉酶水解液中游离氨基酸的含量

Table 4 The content of free amino acids

实验号	鹿肉重量 (g)	吸光度值	AA含量 (mg/100g)	AA增加值 (mg/100g)
1	5.881	0.914±0.012	161.20±11.32	62.99
2	5.437	0.941±0.028	179.67±9.63	81.46
3	5.376	0.951±0.031	183.37±6.32	90.16
4	6.106	1.030±0.045	175.16±9.36	76.95
5	5.531	1.083±0.036	203.36±21.35	105.15
6	5.032	1.024±0.054	211.27±12.02	113.06
7	6.114	1.177±0.101	199.92±16.36	101.71
8	5.058	1.084±0.065	222.42±13.25	124.21
9	6.941	1.533±0.112	229.83±7.38	131.62
对照组	5.769	0.538±0.034	98.21±9.35	

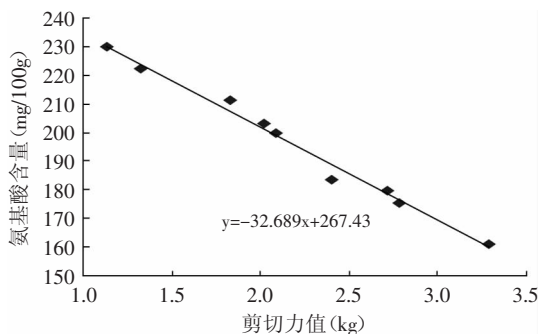


图6 剪切力与氨基酸含量的相关性关系

Fig.6 The correlation of the shear stress and amino acid content

切力值越小,游离氨基酸含量越多。

2.4 酶浓度、时间对鹿肉嫩化效果的比较

为研究各因素对嫩化效果的影响程度,采用方差分析对剪切力值进行分析^[17]。

表5 正交实验实验结果分析

Table 5 Analyzing the orthogonal designs results

实验组	A	B	剪切力降幅 (%)
1	1	1	47.9
2	1	2	56.9
3	1	3	62.4
4	2	1	56.2
5	2	2	68.3
6	2	3	71.1
7	3	1	66.5
8	3	2	78.9
9	3	3	81.7
K ₁	167.2	170.6	T=589.5
K ₂	195.6	204.1	
K ₃	227.1	215.2	
k ₁	55.7	56.9	
k ₂	65.2	68.0	
k ₃	75.7	71.7	
R	20	14.8	

由表5可知,本实验中二个影响因素(酶浓度,处理时间)对鹿乳嫩化影响的顺序为:R_A>R_B,即A因素(酶浓度)为最重要的因素,其次为B因素(处理时间)。

从各因素水平对鹿肉嫩化效果影响来看,K_{3A}>K_{2A}>K_{1A},说明在酶浓度适宜的范围内,浓度越大,嫩化效果越好。这是因为酶促反应符合质量作用定律,产物的生成取决于酶与底物(鹿肉)形成中间产物的浓度,酶浓度越高,酶与底物(鹿肉)形成的中间产物浓度越大,反应速度也越快,效果越好。在处理时间上,K_{3B}>K_{2B}>K_{1B},即处理时间过长或过短嫩化效果均不好。时间短,反应不充分,则效果差;但时间过长嫩化效果差的机理尚不完全清楚,可能是随着时间的延长,蛋白质酶水解产生的产物,使pH升高,对酸性蛋白酶的活性产生一定的影响所致^[18]。

从各因素组合效果看,第9组的嫩化效果最好,而在综合考虑时间成本下,本研究确定第8组为最佳嫩化条件,即酶浓度0.04%,处理时间60min。

3 结论

经不同浓度的木瓜蛋白酶、在不同时间处理下,鹿肉的剪切力值、咀嚼力值显著降低 ($p < 0.01$), pH、游离氨基酸含量不同程度的升高,且极显著 ($p < 0.01$),弹性值变化较小。咀嚼力值与剪切力值存在正相关关系 ($r = 0.9721$),游离氨基酸含量与剪切力值存在负相关关系 ($r = -0.9356$),而弹性值、pH与剪切力值相关性不大。最佳嫩化条件为:酶浓度为0.04%,处理时间为60min。

(下转第234页)

因素对茶多糖得率的影响大小依次是:浸提时间>乙醇浓度>浸提温度>液料比,在两两因素交互作用中,液料比与浸提时间的交互作用对茶多糖得率影响最显著。经回归分析,再结合实际操作的方便性进行修正,确定茶多糖最佳提取工艺条件为液料比12:1、乙醇浓度64%、浸提温度50℃,浸提时间1.25h不变。在修正条件下茶多糖得率为6.43%,与理论值6.44%较吻合。该工艺的优点突出、安全可靠,易保留茶多糖的活性成分,为茶多糖和在食品方面的开发与应用奠定了一定的理论基础。

参考文献

- [1] Tao Y W, Tian G Y. Studies on the physicochemical properties, structure and antitumor activity of polysaccharide YhPS-I from the root of *Cordalis yanhusuo* Wang[J]. Chinese Journal of Chemistry, 2006, 24(2): 235-239.
- [2] Yu G, Yu F D, Guo Z F, et al. Study on biological activities of *Physalis alkekengi* var. *francheti* polysaccharide[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2009, 89(9): 1593-1598.
- [3] 申利红, 王建森, 李雅, 等. 植物多糖的研究及应用进展[J]. 中国农学通报, 2011, 27(2): 349-352.
- [4] 孙继平. 茶籽中皂素和多糖的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2003.
- [5] Shao P N, Ming Y X. A review on the isolation and structure of tea polysaccharides and their bioactivities[J]. Food Hydrocolloids, 2011, 25(2): 144-149.
- [6] 毛芳芳. 茶源多糖理化性质、结构和活性的研究[D]. 上海: 上海师范大学, 2012.
- [7] 郁丽华. 茶多糖的提取方法: 中国, CN 102296096 A[P]. 2011-12-28.
- [8] 谢明勇, 聂少平. 茶多糖得率研究进展[J]. 食品与生物技术学报, 2006, 25(2): 107-119.

- [9] Shao Q S, Hu R H. Quantitative determination of polysaccharide in *Curcuma wenyujin*, a traditional Chinese medicine, by a phenol-sulfuric acid method [J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2008, 2(10): 59-64.
- [10] Dubois M, Gilles K A, Hamilton J K, et al. Colrimetric method for determination of sugars and related substances. Analytical Chemistry, 1956, 28(3): 350-356.
- [11] 黄威. 油茶籽脱壳冷榨浸出粕提取茶籽多糖的研究[D]. 武汉: 武汉工业学院, 2011.
- [12] 任健, 杨志宏, 刘钟栋. 醇沉法提取茶多糖的研究[J]. 山东食品发酵, 2004(1): 33-35.
- [13] 黄桂宽, 李毅. 广西绿茶多糖的分离与分析[J]. 中国茶业, 2000(3): 18-19.
- [14] 杨决, 刘仲华, 黄建安. 茶多糖的提取、分离、纯化、组成研究概况[J]. 中国食物与营养, 2009(8): 47-49.
- [15] 于淑池, 林静. 龙井茶多糖的提取工艺研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(8): 4776-4778.
- [16] Box G P, Bhnken D W. Some view three level design for the study of quantitative variables[J]. Technometrics, 1960(2): 456-475.
- [17] 李月欣, 刘楠, 周德庆. 响应面法优化浒苔膳食纤维酶法提取工艺[J]. 食品工业, 2014, 35(4): 52-56.
- [18] 张彬, 谢明勇, 殷军艺, 等. 响应面分析法优化超声提取茶多糖工艺的研究[J]. 食品科学, 2008, 29(9): 234-238.
- [19] Bucher C G, Bourgund U. A fast and efficient response surface approach for structural reliability problems[J]. Structural Safety, 1990, 7(1): 57-66.
- [20] Bas D, Boyaci I H. Modeling and optimization I: usability of response surface methodology[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 78: 836-845.
- [21] 程刘柯, 张欣, 贝盖临. 响应面法优化枸杞花中多糖的提取工艺[J]. 食品工业, 2014, 35(4): 59-61.

(上接第219页)

参考文献

- [1] 教文利, 孙恩华, 刘永刚, 等. 鹿肉[J]. 特种经济动植物, 2005(9): 8-12.
- [2] 张秀莲, 常忠娟, 李红, 等. 鹿肉的营养价值及初加工概况[J]. 特产研究, 2006(4): 73-75.
- [3] 季中梅, 赵旭彤, 赵岩, 等. 鹿肉的营养价值与加工研究进展[J]. 肉类研究, 2013, 27(2): 32-34.
- [4] 赵殿生. 鹿肉利用的途径[J]. 黑龙江畜牧兽医, 1986(1): 35-37.
- [5] 朱秋劲. 梅花鹿肉腥味改善的研究[J]. 中国畜产与食品, 1999(4): 153-155.
- [6] 张秀莲. 鹿肉的脱腥和嫩化技术[J]. 特种经济动物, 2012(12): 45-47.
- [7] 高贵. 鹿肉酶水解液中游离氨基酸的高效液相色谱分析[J]. 中国生化药物杂志, 2005(1): 32-33.
- [8] 尚志远. 超高压处理与天然抗氧化剂对马鹿肉品质影响的研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2011.
- [9] 明建, 曾凯芳, 李洪军. 木瓜蛋白酶嫩化牛肉效果的研究[J].

食品科学, 2009, 30(7): 210-213.

- [10] 权伍荣, 郑玉淑, 李官浩, 等. 应用蛋白酶进行牛肉嫩化的研究[J]. 食品科技, 2008, 33(12): 132-135.
- [11] 孔晓玲, 蒋德云, 韦山, 等. 关于肌肉嫩度评价方法的比较研究[J]. 农业工程学报, 2003, 19(4): 216-219.
- [12] 林芳栋, 蒋珍菊, 廖珊, 等. 质构仪检测参数与食用肌肉嫩度相关性研究[J]. 食品科技, 2009, 34(12): 176-179.
- [13] 李斌, 高海燕, 刘勤华, 等. 高压处理对牛肉理化特性的影响, 2009(9): 74-76.
- [14] 许益民. 肉和肉制品pH测定的国际标准方法[J]. 中国动物保健, 2000(5): 29.
- [15] 刘慧燕, 德力格尔桑, 方海田. 茚三酮比色法测定牛肉中游离氨基酸的实验研究[J]. 保鲜与加工, 2006(2): 23-25.
- [16] 马美湖, 王刚, 唐晓峰. 牛肉嫩化技术的初步研究[J]. 肉类研究, 1999(4): 18-21.
- [17] 王钦德, 杨坚. 食品实验设计与统计分析[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2003: 354-358.
- [18] 韩玲. 冷却牦牛分割肉酶嫩化技术研究[J]. 农业工程学报, 2003, 19(2): 171-175.