

添加油脂对重组肉干硬度和持水性的影响

蒋平香,夏宁,韦保耀*,滕建文,王勤志
(广西大学轻工与食品工程学院,广西南宁 530004)

摘要:采用重组成型的方法制作中式肉干产品,研究不同油脂添加量(0%、3%、6%、9%和12%)对重组肉干产品硬度的影响,并拟合不同样品的解析等温线,分析添加油脂对产品持水性的影响。结果表明,样品在55℃干燥24 h时,添加的油脂能够阻碍水分的扩散,从而提高产品的含水量,降低产品的硬度值;同时通过对六种常用模型的非线性拟合,得出GAB模型获得了重组肉干产品的解析等温线;该等温线表明,恒定某一 a_w ,随着油脂添加量的增加,产品的干基含水量先降低后增加,说明油脂的增加有促进水分分离的作用,而高油脂的添加可能会通过油膜层的形成来减少水分的挥发。

关键词:重组肉干,油脂,解析等温线,干燥曲线,硬度

Effect of fat addition on hardness and water holding capacity of restructured meat

JIANG Ping-xiang, XIA Ning, WEI Bao-yao*, TENG Jian-wen, WANG Qin-zhi

(Department of Food Science and Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract: The effects of oil level (0%, 3%, 6%, 9% and 12%) on the hardness and water holding capacity of Chinese-style restructured meat were investigated. Desorption isotherms of restructured meat were determined. Results showed that adding oil could hinder the diffusion of water at 55 °C 24 h, meanwhile increase the water content of products, further to reduce the hardness of the product. Non-linear regression analysis was used to evaluate the fitness of the six commonly used models based on the experimental data, and to determine the best models and their parameters. The GAB model was chosen as the best fitted one for desorption isotherms of restructured meat. At a constant a_w , the product of dry basis moisture content increased after decreasing with the addition of oil. This phenomenon illustrated that adding oil could promote oil water separation, however the high oil through the oil film might reduce the volatilization of water.

Key words: restructured meat; oil; desorption isotherms; drying curve; hardness

中图分类号: TS251.9

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2015)18-0077-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2015.18.007

随着经济的发展,肉制品已成为日常生活的重要组成部分。但在生产加工过程中会产生一些碎肉、剔骨肉等下脚料,为了提高这部分副产物的利用率,增加经济效益,目前肉制品企业生产推出重组肉产品,主要采用机械滚揉、添加粘合剂和食盐等工艺提取肌肉中的肌原纤维蛋白,再通过加热或者冷粘胶的方式来增加凝胶网络的稳定性,获得具有色香味的重组肉类产品^[1-2]。香肠、肉饼、重组火腿、火腿肠、重组肉干等产品,因其风味独特而受到消费者的喜爱。

传统的肉干产品,因其口感坚硬,难于咀嚼等品

质缺陷越来越不受消费者青睐。而脂肪能有效降低产品硬度,增加产品多汁性,使得产品更加细腻,风味更加浓郁。国内已有大量的文献报道,脂肪添加能够降低熏煮香肠和乳化香肠的硬度,且随着肥瘦比的增加,产品的硬度值呈显著下降趋势^[3-4]。国外也有学者研究了脂肪对肉制品硬度的影响,发现添加脂肪能够降低肉饼的剪切力值,使得产品更加柔软; Lorenzo将不同质量的猪背部脂肪(5%、10%和20%)添加于干腌香肠中,结果表明脂肪添加量越多,产品的硬度值越小^[5]。

持水性是影响肉制品的一项重要指标,直接影

收稿日期:2014-11-03

作者简介:蒋平香(1988-),女,在读硕士研究生,研究方向:肉制品加工,E-mail:15240672826@163.com。

* 通讯作者:韦保耀(1963-),男,博士,教授,研究方向:天然产物化学成分分离及化学结构研究,E-mail:weibaoy@gxu.edu.cn。

基金项目:广西科技攻关项目(桂科重14121003-6-1,桂科攻1348009-4);国家星火计划任项目(2013GA790001)。

表1 常用的几种解析等温线模型

Table 1 Several usually used models of desorption isotherms

模型	表达式	模型	表达式
BET	$X_{eq} = \frac{ABa_w}{(1-a_w)[1+(B-1)a_w]}$	Henderson	$X_{eq} = \left[\frac{-\ln(1-a_w)}{A} \right]^{1/B}$
GAB	$X_{eq} = \frac{ABCa_w}{(1-Ba_w)(1-Ba_w+BCa_w)}$	Oswin	$X_{eq} = A \left(\frac{a_w}{1-a_w} \right)^B$
Halsey	$X_{eq} = \left(\frac{-A}{\ln a_w} \right)^{1/B}$	Smith	$X_{eq} = A - B \ln(1-a_w)$

注: X表示干基含水量, A、B、C为各模型常数, a_w 为水分活度。

响着产品的出品率和质构^[6]。添加油脂能够提高重组肉制品的水分含量,从而增强产品的持水性,改善产品的品质。产品的持水性可通过解析等温线直观体现,该曲线已广泛应用于预测食品的稳定储藏、干燥过程的模拟、包装材料的选择等领域^[7-9]。由于动物脂肪饱和脂肪酸高,食用过多会导致心血管疾病、高血脂和高血压等疾病。而植物油脂如玉米油,含有大量的不饱和脂肪酸,具有调节血脂和预防动脉硬化作用^[10-11]。目前,尚未发现有关添加外源油脂对重组肉干制品解析等温线的影响研究。

本文以玉米油为外源油脂原料,探究不同油脂添加量对重组肉干产品硬度和持水性的影响;利用质构仪分析产品硬度,解析等温线分析产品持水性,以期改善肉干产品的质地提供理论依据。

1 材料与方

1.1 材料与仪器

谷氨酰胺转氨酶(TG酶) 一鸣生物制品有限公司,食品级;大豆分离蛋白、复合磷酸盐 食品级,购于南宁越前食品添加剂有限公司;食盐、玉米胚芽油、猪后腿瘦肉 市售。

DHG-9146A型电热恒温鼓风干燥箱 上海精宏实验设备有限公司;康卫氏皿 北京科实玻璃仪器有限公司;PYX-250H-C型恒温恒湿培养箱 安徽科力仪器有限公司;CS-858型真空包装机 福建省泉州长盛茶叶机械有限公司;TA.XTplus物性测定仪 英国Stable Micro System公司。

1.2 实验方法

1.2.1 重组肉干的制备工艺 取新鲜猪后腿瘦肉,剔除结缔组织与肥肉后切成1 cm×1 cm大小的肉粒,分成5组,1组对照组和4组实验组,分别添加0%(对照组)、3%、6%、9%和12%的玉米油,另外每组添加1%的TG酶、1%的大豆蛋白、5%的水,添加量均按鲜肉重量计。调配后在4 ℃下腌制4 h,搅拌均匀后入磨具压制成型,待进行热风干燥及指标测定。

1.2.2 产品硬度的测定 取两份1.2.1中5组重组肉干在55 ℃下分别热风干燥12 h和24 h后,使用TA-XTplus物性测定仪样品的硬度。采用P100探头,压缩模式,测前速度为2 mm/s,测中速度为2 mm/s,测后速度为10 mm/s,压缩比为75%,触发力为10 N。实验中每个样品重复测5次,取平均值。其中硬度比=样品硬度值/对照组硬度值;硬度差值=干燥24 h样品硬度-干燥12 h样品硬度。

1.2.3 干燥曲线的绘制 样品在空气湿度为30%,

55 ℃下干燥34 h,每隔30 min称量样品的重量,然后按如下公式计算干基含水量。以产品的干基含水量为纵坐标,干燥时间为横坐标制作干燥曲线。

$$X = \frac{M_t - M_0}{M_0}$$

式中, X为样品干基含水量, M_t 为样品t时刻的质量, M_0 为样品干基质量。

1.2.4 解吸等温线的制备 将不同油脂添加量的重组样品放入烘箱中,干燥温度为55 ℃,湿度为30%,分别于0、9、12、27、36、58、72 h取样测定样品的水分活度值^[12]和干基含水量。然后以水分活度值为横轴,以干基含水(即平衡含水量)为纵轴绘制解吸等温线。

1.2.5 数据处理与统计分析 常见的水分解吸吸附模型^[13-15]如表1,将实验测得对照组的水分活度值和干基含水量分别代入公式中,运用数据分析软件SPSS20进行非线性回归分析,得到相应模型中的参数值。

将实验所得的数据代入模型中进行拟合,主要通过决定系数(R^2)、残差平方和(R_{SS})、估计标准差(S_{EE})、平均相对偏差(M_{RD})、均方根误差(R_{MSE})^[16]等5个检验参数来评价六个模型的拟合效果。其中决定系数(R^2)的值越接近1,曲线拟合效果越好,残差平方和(R_{SS})和均方根误差(R_{MSE})的值越接近0,曲线拟合效果越好,平均相对误差(M_{RD})的值越小,实验值与预测值越接近, R_{SS} 模型与等温数据拟合效果,其值越小拟合效果越好。不同模型的统计参数见表2。

表2 不同模型的统计参数

Table 2 Statistical parametric of different models

统计参数	表达式
R^2	$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (X_{eq} - X_{pre})^2}{\sum_{i=1}^N (X_{eq} - \bar{X}_{eq})^2}$
R_{SS}	$R_{SS} = \sum_{i=1}^N (X_{eq} - X_{pre})^2$
S_{EE}	$S_{EE} = \sqrt{\frac{1}{N-n_c} \sum_{i=1}^N (X_{eq} - X_{pre})^2}$
M_{RD}	$M_{RD} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{ X_{eq} - X_{pre} }{X_{eq}}$
R_{MSE}	$R_{MSE} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_{eq} - X_{pre})^2}$

注:其中 X_{pre} 为模型预测的平衡水分质量分数, N为实验测定数据点数, n_c 为模型中的常数个数。

利用模拟好的解析等温线, 恒定某一水分活度值, 划直线与各样品的解析等温线相交, 得出不同油脂添加量对产品干基水分含量的影响; 同理得到了同一干基含水量下不同油脂添加量对产品水分活度的影响。

2 结果与分析

2.1 不同油脂添加量对重组肉干的硬度的影响

从图1可以看出, 随着油脂添加量的增加, 两种干燥时间下的重组肉干硬度比均逐渐降低, 即实验组的硬度值低于对照组的硬度值, 因此添加油脂能够降低产品的硬度, 且添加量越大硬度比越低, 这与Muguerza^[17]研究结果一致。油脂添加量大于3%的3组实验中, 从硬度差值的曲线变化情况可知, 随着油脂添加量的增加, 硬度差值随之减少, 当油脂添加量大于6%时, 该曲线趋于平缓, 此时干燥时间对该添加量的重组肉干硬度影响不大。其原因可能是添加的油脂改变了产品含油量, 同时也影响了产品在干燥过程中水分的扩散, 使得重组肉干在12 h内, 硬度的变化不大。

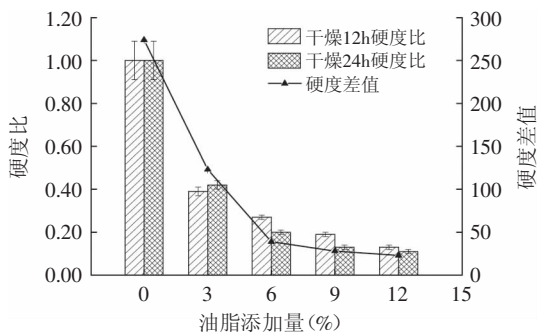


图1 油脂添加对产品硬度的影响

Fig.1 Effect of oil addition on the hardness of product

2.2 不同油脂添加量对重组肉干产品的干燥曲线的影响

图2展示了样品在干燥过程中水分的变化情况, 从图2中可以看出: 随着干燥时间增加, 产品干基含水量逐渐降低; 干燥相同时间时, 不同样品干基含水量不同。当样品未干燥时, 随着油脂添加量的增加, 产品的干基含水量从3.06降至1.98。当干燥34 h时, 对照组的干基含水量最低, 为0.21, 而添加12%的油脂样品的干基含水量最高, 为0.49。同时从图2中也可看出, 干燥时间较长时, 在相同的干燥时间内, 添加植物油脂越多, 样品的干基含水量越高, 这与Yildiz-

Turp研究相一致^[16]。Utrilla^[18]的研究结果也表明在相同条件下干燥28 d, 随着油脂添加量的增加, 产品的质量损失越少, 终产品的含水量越高, 与本文的研究结果一致。出现上述现象的原因是碎肉在重组加工中, 添加的油脂分散于凝胶网络中, 占据了干燥过程中水分运输的通道, 阻碍了水分的扩散。因此, 经过相同的干燥时间, 添加的油脂降低了产品的干燥速率, 使其水分残留量更高, 从而降低了产品的硬度。

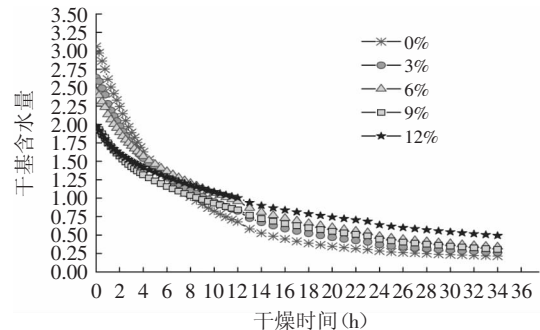


图2 不同油脂添加量样品的干燥曲线

Fig.2 The drying curve of restructured meat with different oil addition

2.3 不同油脂添加量对产品的持水力的影响

水分活度是食品中被束缚的水分的表达, 即在相同的水分含量时, 产品的水分活度越大, 产品的持水能力越差。解析等温线则用来表达食品干燥过程中食品干基含水量与水分活度的关系。

2.3.1 解析等温线的模型评价 本文采用6种常见的数学模型, 在水分活度0.50~0.99范围内对重组肉干(对照组)的解析等温曲线进行拟合, 实验结果如表3所示。

对实验所得系列平衡含水量与水分活度值, 采用SPSS20数据分析软件进行非线性回归分析, 分析统计结构见表3。从表3中可以看出, 除BET模型和Smith模型外, 其他4个模型的预测等温线的预测值都与实验所得数据很接近, 能达到很好的拟合效果。对于重组肉干的解析等温线拟合模型, 按统计参数从优到次的顺序依次为GAB>Oswin>Henderson>Halsey>Smith>BET, 其中GAB模型的 R^2 和 S_{EE} 分别为0.9933和0.1009, M_{RD} 、 R_{MSE} 、 R_{SS} 值也较优, 表明拟合效果很好, 因此GAB模型是更适合于重组肉干的等温线的拟合。

2.3.2 样品模型的表达式及其分析 根据上述的

表3 解析模型参数及统计参数值

Table 3 Values of model parameters and statistical coefficients for desorption isotherms

模型	R^2	S_{EE}	M_{RD}	R_{MSE}	R_{SS}	A	B	C
BET	0.9012	0.2873	0.3582	0.2428	0.478	0.025	285.995	
Halsey	0.9882	0.1087	0.2244	0.0918	0.059	0.042	1.582	
Henderson	0.9890	0.1029	0.2282	0.087	0.053	2.946	0.486	
Oswin	0.9894	0.1012	0.1919	0.0855	0.051	0.149	0.613	
Smith	0.9250	0.2697	0.5218	0.2279	0.364	-0.597	0.627	
GAB	0.9933	0.1009	0.3664	0.1066	0.034	0.066	0.984	19.334

表4 不同样品的解析等温线方程

Table 4 Desorption isotherms of the different samples

油脂添加量(%)	表达式	油脂添加量(%)	表达式
0	$X_{ei} = \frac{1.256}{(1-0.984a_w)(1+18.041a_w)}$	9	$X_{ei} = \frac{1.626}{(1-0.994a_w)(1+35.144a_w)}$
3	$X_{ei} = \frac{14.184}{(1-0.992a_w)(1+266.630a_w)}$	12	$X_{ei} = \frac{13.043}{(1-0.982a_w)(1+254.761a_w)}$
6	$X_{ei} = \frac{1.996}{(1-a_w)(1+59.494a_w)}$		

GAB模型,对不同油脂含量的样品水分含量与水分活度值进行拟合,运用SPSS非线性回归分析,得到相应的A、B、C值,结果见表4。

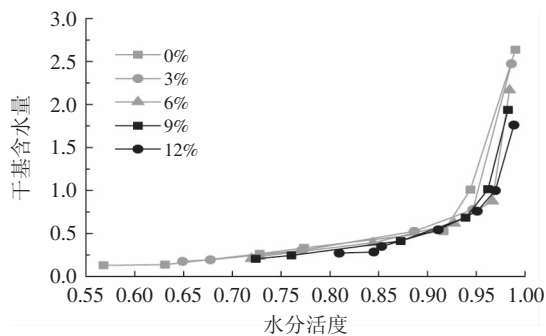


图3 不同油脂添加量样品的解析等温线

Fig.3 Desorption isotherms of restructured meat with different oil addition (GAB model)

图3为不同样品的解析等温线。从图3中可以看出,随着产品水分活度的降低,干基含水量也逐渐降低,不同油脂添加量样品的解析等温线变化趋势是一致的。当水分活度从0.55增加至0.85时,干基含量仅从0.25增至0.50;当水分活度从0.85增至1.00时,干基含水量从0.50增至3.00。其原因是当 $a_w > 0.85$ 时,大量游离水分子存在于空洞、裂缝或由毛细管束缚,比较活跃,容易受热逸出,所以随着水分含量的降低,水分活度也迅速的降低。但不同样品的解析等温线并不重合,这与样品的持水能力有关。

2.3.3 不同油脂添加量对产品的持水力的影响 由图3得到同一干基含水量下不同油脂添加量对产品水分活度的影响,结果见表5和表6。

表5 恒定水分活度下不同油脂添加量对产品干基含水量的影响

Table 5 Water content of different samples at a constant water activity

油脂添加量(%)	a_w		
	0.75	0.85	0.90
0	0.330	0.470	0.637
3	0.276	0.397	0.549
6	0.175	0.258	0.366
9	0.234	0.340	0.473
12	0.258	0.363	0.487

从表5可以看出, a_w 恒定时,随着油脂添加量的增加,产品的干基含水量先降低后增加。当水分活度

为0.75时,油脂添加量从0%增加至6%,产品干基含水量从0.330降至0.175;当油脂添加量从9%增至12%,干基含水量从0.234增加至0.258。其原因可能是:油脂添加量从0%增加至6%时,添加的油脂使得蛋白疏水相互作用增加,水分受到排斥,产品的持水能力降低,干燥时产品中的水分易于脱除,当干燥至相同水分活度时,干基含水量逐渐降低。当油脂添加量为9%~12%时,由于在干燥过程中玉米油是以液态形式存在且易于移动,容易形成油膜层^[9],阻碍水分溢出,使得产品持水能力增加,因此干燥至相同水分活度时,产品的干基含水量逐渐增加。

表6 恒定水分含量下不同油脂添加量对产品水分活度的影响

Table 6 Water activity of different samples at a constant moisture content

油脂添加量(%)	干基含水量		
	0.25	0.50	1.00
0	0.546	0.862	0.946
3	0.706	0.888	0.952
6	0.844	0.929	0.966
9	0.778	0.910	0.963
12	0.737	0.903	0.964

从表6可以看出,当样品干燥至相同的干基含水量0.25时,油脂添加量为0%~6%时,水分活度从0.546增至0.844,而当油脂添加量从6%增加至12%时,水分活度从0.884降低至0.737。随着油脂添加量的增加,水分活度先增加后降低的趋势在干基含水量为0.50和1.00时也同样出现。这是因为油脂添加至碎肉重组体系中,由于疏水相互作用使得油脂依附于蛋白质分子的表面,因此蛋白质水合作用减弱,水分子所受的束缚力减少,自由度增加,水分活度增加;而随着油脂添加量的增加,形成油层薄膜,降低了水分子的自由溢出度,使得样品在相同的干基含水量时产品水分活度降低。

a_w 在肉干产品保藏方面起着重要的作用。当水分活度低于0.65时,食品中的腐败微生物将难以生长,此类肉干产品仅需简易密封包装即可常温稳定贮藏,根据国标GB 2726-2005^[20]可知此类产品的水分含量低于20%。水分活度为0.75~0.9的肉制品为半干肉制品,该类产品往往需辅助以真空包装、杀菌和添加防腐剂等技术才能于常温稳定贮藏。由表6可知,当产品的干基含水量为0.25,即湿基含水量为20%时,未加油脂产品的水分活度为0.546,小于0.65,

因此该产品可以稳定贮藏。但当添加油脂后,由于产品的持水能力下降,产品的水分活度均大于0.70,产品的贮藏稳定性受到了影响。同样由表5可知,当 $a_w=0.75$ 时,添加油脂能够降低产品的干基含水量;当油脂添加量为6%时,产品的干基水分含量为0.175,即产品的湿基含水量已达到国标小于20%的要求,但此产品并没有表现出利于贮藏的状况(a_w 小于0.65)。由此可见,增加油脂虽然可以降低肉干制品的硬度,但在加工过程中不能仅采用终产品的水分含量以及干燥时间为衡量指标,建议在产品开发中增加产品的水分活度值作为衡量指标,这样更为科学。

3 结论

本文以含油重组碎肉产品为原料,研究了油脂添加对重组肉干产品硬度和持水性的影响,为开发硬度适中的重组肉干产品提供理论依据。本文通过对不同产品的干燥曲线和硬度分析表明,当干燥至相同的时间,随着油脂添加量的增加,终产品水分含量增加,产品硬度显著降低($p < 0.05$),且油脂添加量大于6%时,干燥12 h后产品的硬度增加不明显。同时对解析等温线模型拟合分析表明:GAB模型更适合于重组肉干等温线的拟合;并对拟合模型分析表明,当油脂添加量为0%~6%时,持水能力逐渐降低,而油脂添加量为9%~12%时,持水能力逐渐增加,6%添加量的产品持水能力最差。综上所述,建议在实际生产加工过程中不仅以干燥时间和干基含水量为指标评价干燥效果和产品质量,应在此基础上添加水分活度更为准确和全面。

参考文献

- [1] Dondero M, Figueroa V, Morales X, et al. Transglutaminase effects on gelation capacity of thermally induced beef protein gels[J]. Food Chemistry, 2006, 99(3): 546-554.
- [2] 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.
- [3] 刘永安, 赵改名, 黄现青, 等. 脂肪添加量对熏煮香肠质构的影响[J]. 食品与发酵工业, 2012(6): 203-208.
- [4] 刘迪迪, 孔保华. 不同肥瘦肉质量比对乳化肠品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2009(12): 173-177.

- [5] Lorenzo J M, Franco D. Fat effect on physico-chemical, microbial and textural changes through the manufactured of dry-cured foal sausage Lipolysis, proteolysis and sensory properties[J]. Meat Science, 2012, 92(4): 704-714.
- [6] 闫晓蕾. 山梨糖醇在香肠制品中的持水作用研究[D]. 无锡: 江南大学, 2012.
- [7] 吴焕领, 魏赛男, 崔淑玲. 吸附等温线的介绍及应用[J]. 染整技术, 2006(10): 12-14.
- [8] 王云阳, 张丽, 王绍金, 等. 澳洲坚果果壳解吸等温线与吸附等温线拟合模型[J]. 农业机械学报, 2012(5): 103-107.
- [9] Sinija V R, Mishra H N. Moisture sorption isotherms and heat of sorption of instant(soluble) green tea powder and green tea granules[J]. Journal of Food Engineering, 2008, 86(4): 494-500.
- [10] 回瑞华, 侯冬岩, 李学成, 等. 玉米油的制备及脂肪酸的分析[J]. 食品科学, 2006(11): 418-420.
- [11] 张海臣, 吕春艳, 姜义东. 关于玉米油营养价值及制备的探讨[J]. 粮油加工, 2009(4): 41-44.
- [12] GB/T 23490-2009食品水分活度的测定[S]. 中国: 2009.
- [13] Basunia M A, Abe T. Moisture desorption isotherms of medium-grain rough rice[J]. J Stored Prod Res, 2001, 37(3): 205-219.
- [14] Moreira R, Chenlo F, Torres M D, et al. Water adsorption and desorption isotherms of chestnut and wheat flours[J]. Industrial Crops and Products, 2010, 32(3): 252-257.
- [15] 彭桂兰, 陈晓光, 吴文福, 等. 玉米淀粉水分吸附等温线的研究及模型建立[J]. 农业工程学报, 2006, 22(5): 176-179.
- [16] Yıldız-Turp G, Serdaroğlu M. Effect of replacing beef fat with hazelnut oil on quality characteristics of sucuk-A Turkish fermented sausage[J]. Meat Science, 2008, 78(4): 447-454.
- [17] Mugerza E, Fista G, Ansorena D, et al. Effect of fat level and partial replacement of pork backfat with olive oil on processing and quality characteristics of fermented sausages[J]. Meat Science, 2002, 61(4): 397-404.
- [18] Utrilla M C, García Ruiz A, Soriano A. Effect of partial replacement of pork meat with an olive oil organogel on the physicochemical and sensory quality of dry-ripened venison sausages[J]. Meat Science, 2014, 97(4): 575-582.
- [19] Hugo A, Roodt E. Significance of porcine fat quality in meat technology: A review[J]. Food Reviews International, 23(2): 175-198.
- [20] GB 2726-2005熟肉制品卫生标准[S]. 中国: 2005.

(上接第69页)

- sulfonamide antibiotic residues in marine products using HPLC-PDA and LC-MS/MS[J]. Food Control, 2011, 22(7): 1101-1107.
- [11] 高洋洋, 张朝晖, 刘鑫, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法测定动物源性食品中的磺胺增效剂[J]. 色谱, 2014(5): 524-528.
 - [12] Chen A, Jiang X, Zhang W, et al. High sensitive rapid visual detection of sulfadimethoxine by label-free aptasensor[J]. Biosensors & bioelectronics, 2013, 42: 419-425.
 - [13] 韩静, 刘恩梅, 王帅, 等. 胶体金免疫层析法检测食品中的磺胺类药物残留[J]. 现代食品科技, 2011, 27(5): 603-606.
 - [14] He Q-h, Xu Y, Zhang C-z, et al. Phage-borne peptidomimetics

- as immunochemical reagent in dot-immunoassay for mycotoxin zearalenone[J]. Food Control, 2014, 39(0): 56-61.
- [15] He Q-H, Xu Y, Wang D, et al. Simultaneous multiresidue determination of mycotoxins in cereal samples by polyvinylidene fluoride membrane based dot immunoassay[J]. Food chemistry, 2012, 134(1): 507-512.
 - [16] 陈艳, 梁赤周, 吴斌, 等. 庆大霉素快速Dot-ELISA检测方法的建立及初步应用[J]. 中国畜牧兽医, 2010(9): 237-240.
 - [17] 林晓丽, 饶辉, 熊勇华, 等. 胶体金试纸条快速检测食品中磺胺二甲基嘧啶残留[J]. 食品科学, 2010(24): 366-369.