

文章编号:1673-1689(2008)01-0032-06

调味液处理后的真空包装冷却羊肉低剂量 辐射后的微生物变化

马丽珍¹, 卢智², 朱俊玲³

(1. 天津农学院 食品科学系, 天津 300384; 2. 长治职业技术学院 园艺系, 山西 长治 046000; 3. 山西农业大学 食品科学与工程学院, 山西 太谷 030801)

摘要:辐照对肉中微生物的杀灭作用明显, 然而辐照肉的 TBARS 值要高于未辐照肉, 采用调味液结合辐照方法对冷却羊肉处理, 在 28 d 贮存期内测定其微生物指标的变化, 并在贮期末测定 TBARS 值, 结果表明: 采用 5 000 Gy 辐照结合调味液处理组, 乳酸菌、嗜冷菌、肠杆菌科菌、假单胞菌属、细菌总数对数值分别为 4.50、1.57、0.70、2.38、2.90, 明显低于国标(5.0), 而 TBARS 值为 0.23 mg/kg, 未超国标(0.50), 显著低于未经调味液处理的各组。且在整个贮存期内, 调味液处理组的辐照味要明显小于未经保鲜处理组, 色泽也并无明显改变, 贮存效果好。

关键词:辐照; 调味液; 冷却羊肉; 微生物指标

中图分类号: TS 207.4

文献标识码: A

Changes in Microflora Characteristics of Vacuum-packaged Fresh Mutton after Dealing with Preservative Solution and Irradiated at Low-dose Irradiation

MA Li-zhen¹, LU Zhi², ZHU Jun-ling³

(1. Department of Food Science, Tianjin Agricultural Collage, Tianjin 300384, China; 2. Horticultural Department, Changzhi Profession Technique Collage, Changzhi 046000, China; 3. Food Science and Engineering College, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China)

Abstract: Irradiation can kill microorganism in meat obviously, but the irradiated meats produced higher 2-thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) than nonirradiated. In this manuscript, preservatives were used in chilled lamb with irradiation, then microbiological properties were determined during 28 days of storage. At the 28th day, the TBARS value was determined. The log CFU/g of Lactic acid bacteria, *Psychrotrophs*, *Enterobacteriaceae*, *Pseudomonas*, microflora total count were 4.50, 1.57, 0.70, 2.38, 2.90 and were lower than national standard (5.0) obviously. The result showed TBARS was only 0.23 mg/kg by irradiation of 5 000 Gy with preservatives and was lower than national standard (0.50) and non-preservatives groups. On the other hand, irradiation odor was lower than non-preservatives and their color did not change obviously during whole storage.

Key words: irradiation; preservative; chilled lamb; microbiological properties

收稿日期: 2007-04-03.

基金项目: 天津市科技发展计划项目(05ZHGCNC00100)

作者简介: 马丽珍(1963-), 女, 山西运城人, 工学博士, 教授, 主要从事肉肉类科学研究. Email: malizhen-6329@163.com

辐照作为食品保鲜的一门新技术备受人们关注,将辐照用于冷却肉的保鲜加工也逐渐成为焦点之一。研究人员发现:辐照对微生物的杀灭作用非常明显,然而其对肉中的脂肪氧化、蛋白质分解都有一定的影响。如今,对辐照的研究多集中在辐照对肉品的微生物指标、脂肪氧化、不良风味(辐照味)的生成及感官变化等方面。如:Thayer 等^[1](1993)研究发现:辐照剂量、包装条件、辐照温度对肉的微生物指标影响很大。M. Lacroix 等^[2](2000)对不同包装的辐照鲜猪肉的蛋白质和微生物变化进行研究,试图采用不同包装来减轻辐照对肉的不良影响。许多研究人员将如何消除辐照给肉品带来的一系列问题作为研究重点,提出了一些解决办法,如 Margareat Patterson^[3](1996)认为将辐照与其它保鲜方法联合使用,就可以既发挥辐照的优点,又能使辐照引发的劣变降至最低。

天然保鲜剂在肉品保鲜方面的研究逐渐成为该领域的重要方向之一。研究人员就天然香辛料中常见的42种风味成分对6种细菌进行抑制试验,结果发现它们对绝大多数被测细菌有较显著的抗菌活性。研究人员还发现,在猪肉中加入常用香辛料均有抗氧化作用,其中,生姜和丁香的抗氧化性最好,优于0.005% BHT。然而,将辐照与调味液处理相结合来延长冷却羊肉的保质期,国内外还鲜见研究。本试验目的就是将辐照的抑制微生物作用与天然调味液的抗氧化及抑菌功能相结合,从而发现辐照与调味液处理对冷却羊肉中微生物的影响,同时在贮藏期末期测定 TBARS 值,结合微生物指标,挑选辐照给肉品带来不良影响最小的一组,验证调味液与辐照处理用于冷却羊肉保鲜的可行性,加速辐照在肉品保鲜方面的应用。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 原料 太谷本地羊,取刚宰杀的新鲜羊后腿肉。

1.1.2 主要试剂 假单胞菌用假单胞菌培养基、细菌总数用营养琼脂 PCA、乳酸菌用 MRS 琼脂培养基、肠杆菌科用 VRBGA 琼脂培养基等所用的试剂,另外还有生姜、桂皮和丁香。

1.1.3 包装材料 聚偏氯乙烯真空包装袋(23℃、60%相对湿度下透氧率 2 mL/(m²·24 h·atm),日本吴羽化学公司提供。

1.2 主要设备

离心机、分光光度计、酸度计、恒温培养箱、摇

床、超净工作台、高压灭菌锅等。

1.3 试验方法

1.3.1 调味液制备 分别称取 6 g 的丁香、桂皮加入 100 mL 蒸馏水中,在 80℃ 水浴中恒温 8 h 后冷却,期间不断振摇,用滤纸过滤,按体积配比 13.25:19.35:67.4^[4] 取出并加入姜汁,便得到调味液。

1.3.2 原料肉处理 新鲜(屠宰后 2 h 内)的去骨羊肉,切成 5 cm³ 的肉块,之后用无菌水反复清洗,以去除污血,再用无菌纱布拭去表面水分,分成 100 g/份,各试验组的设计见表 1。需要调味液处理的先在调味液中浸泡 1 min,沥干 2~5 min,各组均真空包装。两种处理的样品随机分成 4 组,每组 8 袋。根据试验设计,将需要辐射的 24 袋真空包装冷却羊肉用冰块降温,并维持 0~4℃ 的温度,置于坛中,送到山西农业大学辐射中心进行辐照。对于未进行辐射的 8 袋对照组也始终处于同一条件下贮藏。

1.3.3 辐射和冷藏 辐射剂量是按照被辐射的样品离辐射源的距离和照射时间来确定的,本试验设为:1 000、3 000、5 000 Gy 3 个不同辐射剂量,目的是在能够延长冷却羊肉货架期的前提下尽可能降低辐射剂量,以减少辐射给冷却肉带来风味方面的不良影响。将被辐射的样品放置在⁶⁰Co 源一定距离,采用静态辐射,中间进行一次翻身,以确保辐射剂量的均匀性,各组的设计安排见表 1。辐射结束后立即将样品放入 0~4℃ 的冰箱内贮藏 28 d,未经辐射的对照组也在同样条件下贮存。

表 1 试验设计

Tab. 1 The experiment design

组别	处理方法和辐射剂量
1	调味液处理,不经辐射处理
2	调味液处理,经1 000Gy 处理
3	调味液处理,经3 000Gy 处理
4	调味液处理,经5 000Gy 处理
5	调味液不处理,不经辐射处理
6	调味液不处理,经1 000Gy 处理
7	调味液不处理,经3 000Gy 处理
8	调味液不处理,经5 000Gy 处理

注:各组均采用真空包装

1.4 微生物指标测定

无菌操作从冷却羊肉表面取样 10 g,用无菌剪刀剪碎,放入 90 mL 无菌生理盐水中,封口后在摇床中振摇 30 min,然后取 1 mL 上清液进行加倍递增稀释,选择 3 个合适稀释度,每个稀释度做 3 个重复,倾注平板计数,各种腐败菌的选择性培养基及培养条件见表 2、3。

表 2 各种选择性培养基的种类及配制比例

Tab. 2 Preparation methods of selective media

培养基名称	测定对象菌	种类及用量
MRS(Man-Rogosa-Sharpe agar)琼脂培养基	乳酸细菌	蛋白胨 10 g,牛肉膏 10 g,酵母提取物 5 g,磷酸氢二钾 2 g,柠檬酸铵 2 g,乙酸钠 5 g,葡萄糖 20 g,吐温 80 1 mL,硫酸镁 0.58 g,硫酸锰 0.25 g,琼脂 15 g,蒸馏水 1 000 mL。pH 调至 6.2~6.4,121 ℃ 灭菌 15 min。
<i>Pseudomonades</i> 琼脂培养基	假单胞菌属	蛋白胨 20 g,无水氯化镁 1.4 g,无水硫酸钾 1.0 g,琼脂 13.6 g,甘油 10 mL,蒸馏水 1 000 mL。
VRBGA(Violet Red Bile Glucose Agar) 琼脂培养基	肠杆菌科	酵母浸膏 3 g,蛋白胨 7 g,胆盐 1.5 g,氯化钠 5 g,乳糖 10 g,中性红 0.03 g,结晶紫 0.002 g,琼脂 15 g,蒸馏水 1000 mL。pH 调至 7.3~7.5,121 ℃ 灭菌 15 min。

表 3 各种菌培养条件

Tab. 3 The incubation conditions of various bacteria

种类	培养基	培养条件
细菌总数	营养琼脂(PCA)	30 ℃ 培养 48 h
乳酸细菌	MRS	30 ℃ 培养 48 h
假单胞菌属	<i>Pseudomonades</i> 琼脂	25 ℃ 培养 48 h
肠杆菌科	VRBGA	30 ℃ 培养 48 h
嗜冷菌	营养琼脂(PCA)	0~4 ℃ 培养 10 d

1.5 统计分析

采用邓肯氏新复级差法检验显著性,SAS 6.12 统计软件运算。

2 结果与分析

各处理组在 0~4 ℃ 冷藏过程中,假单胞菌、乳酸菌、嗜冷菌、肠杆菌科、细菌总数的测定结果见图 1~10。

由图 1,2 可知,高剂量辐照对假单胞菌属的抑制作用比低剂量辐照明显。虽然,在贮存期内,经辐照处理各组的菌数对数值比未经辐照的组都低,但 1 000 Gy 并不显著。然而随着辐照剂量的增加,杀菌效果随之显著。在 28 d 内,1 000 Gy 辐照各组比未辐照各组对数值低,但并不显著,而 3 000、5 000 Gy 辐照则使菌数下降 1~2 个对数值,差异显著。可见假单胞菌属对 1 000 Gy 辐照有一定抗性。调味液处理对该菌的抑制作用表现在 1 000 Gy 辐照上。试验发现,在 1 000 Gy 辐照时,调味液处理组比未处理组在整个贮存期内,菌数对数值都低,差异达显著水平。而在 0,3 000,5 000Gy 辐照组,调味液的抑菌表现均不明显。1 000 Gy 与调味液的协同增效作用不如高剂量辐照单独作用,且差异显著。这说明调味液的抑菌力与 1 000 Gy 辐照剂量接近,而当辐照剂量增加时,辐照的抑菌效果远远高于调味液,所以 3、4 组与 7、8 组之间差异不

显著。

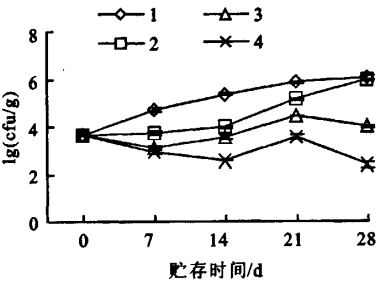


图 1 调味液处理各组假单胞菌属的变化

Fig. 1 Changes of the *Pseudomonas* of preservatives treated groups

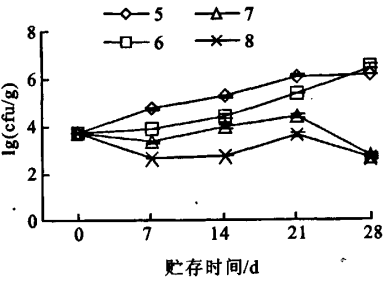


图 2 非调味液处理各组假单胞菌属的变化

Fig. 2 Changes of the *Pseudomonas* of no preservatives treated groups

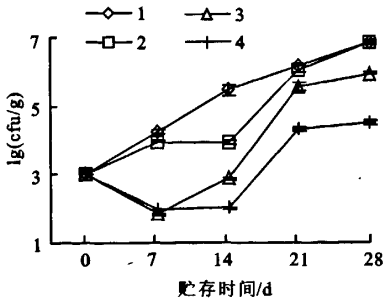


图 3 调味液处理各组乳酸菌的变化

Fig. 3 Changes of the Lactic acid bacteria of preservatives treated groups

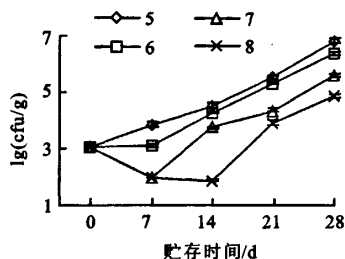


图4 非调味液处理各组乳酸菌的变化

Fig. 4 Changes of the Lactic acid bacteria of no preservatives treated groups

由图 3、4 可知,在整个贮存期内,不论调味液处理与否,0、1 000 Gy 辐照组的曲线接近,其菌数对数值在贮存期末都已达到 6 以上,两者差异不显著,而 3 000、5 000 Gy 辐照各组曲线明显较低,3、7、4、8 组菌数对数值在 28 d 时分别为 5.9、5.6、4.5、4.9,比未经辐照处理组的低 1~2 个对数值,与 1 000 Gy 相比,3 000、5 000 Gy 辐照杀菌效果显著,可见乳酸菌对辐照抗性较强,低剂量辐照对其作用不明显。本试验中调味液对乳酸菌杀菌效果也不明显,贮存期间调味液处理组与未处理组的菌数对数值交替上升,无明显线性规律。

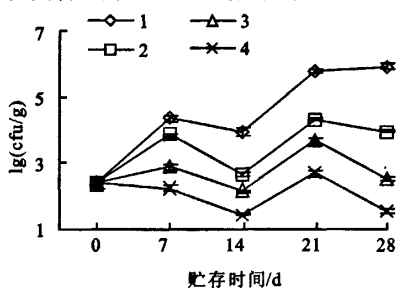


图5 调味液处理各组嗜冷菌的变化

Fig. 5 Changes of the Psychrotrophs of preservatives treated groups

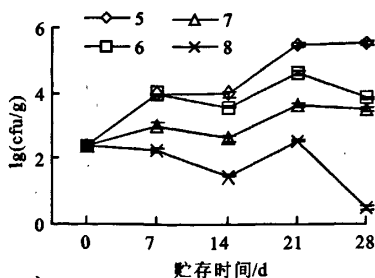


图6 非调味液处理各组嗜冷菌的变化

Fig. 6 Changes of the Psychrotrophs of no preservatives treated groups

由图 5、6 可看出,在贮存期末时,1 000 Gy 辐照组比未辐照组的嗜冷菌数小 1~2 个对数值,3 000 Gy 辐照组小 2~3 个对数值,而 5 000 Gy 组则小 4~5 个对数值,同时,1 000 Gy 辐照已能将嗜冷菌的菌数对数值降至 4 以下,与未辐照组相比达显著水平。可见,嗜冷菌对辐照敏感,杀菌效果突出。对调味液来说,其杀菌效果极不明显。在前 21 天时,1 000 Gy 辐照和调味液的协同作用,使菌数都低于只辐照而未经调味液处理组,但这种作用较弱,在 28 d 时已不存在,而且比起高剂量辐照的单因素作用,还有很大差距。在 28 d 时 3 组和 6 组的对数值为 2.5 和 3.5,4 组和 8 组为 1.57 和 0.49。与假单胞菌属相似,调味液的抑菌作用可能只在低剂量辐照时有所表现,当辐照剂量提高后,这种抑菌作用可能就显得很微弱了。

图 7、8 显示,肠杆菌科菌对辐照极为敏感,28 d 时,1 000 Gy 辐照可使菌数下降 1~1.5 个对数值,3 000、5 000 Gy 可使菌数下降 4~5 个对数值,在第 7、14 天时,3 000、5 000 Gy 辐照组的菌数已达未检出状态,这与 Lebepe et al^[5]报道的研究结果相似。相比辐照对该菌的强抑制作用,调味液对该菌的抑制作用就显得很微弱。

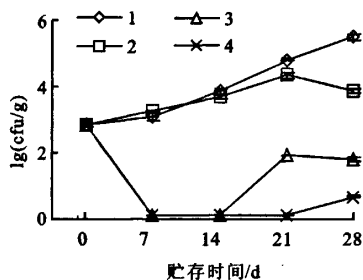


图7 调味液处理各组肠杆菌科菌的变化

Fig. 7 Changes of the Enterobacteriaceae of preservatives treated groups

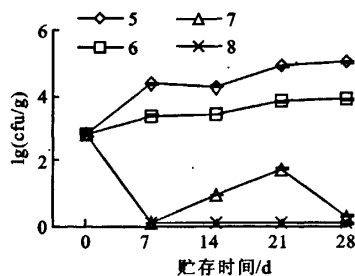


图8 非调味液处理各组肠杆菌科菌的变化

Fig. 8 Changes of the Enterobacteriaceae of no preservatives treated groups

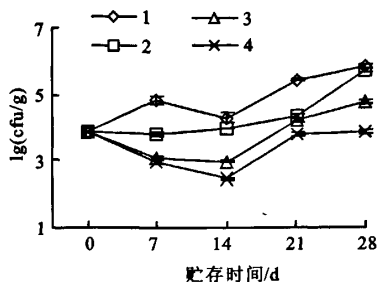


图9 调味液处理各组细菌总数的变化

Fig. 9 Changes of the microflora count of preservatives treated groups

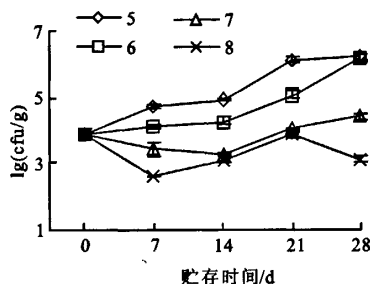


图10 非调味液处理各组细菌总数的变化

Fig. 10 Changes of the microflora count of no preservatives treated groups

由图9、10可知,调味液对细菌总数有一定的抑制作用,在28 d时,调味液处理组的菌数对数值均比未经调味液处理组低,且在0.1 000 Gy辐照组中达到显著水平,在整个贮期内,这一趋势同样存在,在3 000、5 000 Gy辐照组,这种差异并不显著。可见辐射剂量低时,调味液作用显著,剂量增大后,作用不显著。对细菌总数而言,辐照对其的杀灭作用表现在高剂量上,虽然,1 000 Gy辐照组比未辐照组的菌数低,但差异不显著。同假单胞菌、乳酸菌相似,3 000、5 000 Gy与调味液无协同增效作用。

3 讨论

3.1 辐照对微生物的抑制作用

1) 不同微生物对辐照的敏感程度不同, M. K. Dogbevi等^[6](2000)证实嗜温菌和假单胞菌对辐照的耐性高。本试验中,对辐照最敏感的是肠杆菌科菌,其次是嗜冷菌、假单胞菌。相对而言,乳酸菌对辐照的耐性最高。M. Lacroix等^[2](2000)报道:采用有氧包装时,嗜冷菌比嗜温菌耐辐照,但采用真空包装时,则反之。作者采用真空包装,结论与其有相同之处,但在肠杆菌科上还有出入。究其原因,观察几种微生物的最低生长温度发现,大肠杆菌的最低生长温度为2~5℃,乳酸杆菌为-4℃。

(孔保华,肉制品工艺学^[7])由此推测:肠杆菌科菌为嗜温菌,比嗜冷菌、假单胞菌、乳酸菌的抗冷能力弱。在低温下,其代谢过程已开始减弱,低温对其已有一定损伤,这时再加上辐照处理,就可能对其彻底杀灭。

2) 许多研究人员在辐照剂量达到多少时即可抑制微生物生长、使鲜肉货架期大幅延长的问题上存在分歧。M. Lacroix^[2](2000)认为:至少1 000~2 000 Gy以上的辐照剂量才能有效控制微生物生长。有些研究人员认为,500 Gy和1 000 Gy的辐照剂量就可以达到这一效果。还有一些人认为:原料肉的初始菌数是影响辐照肉货架期的主要因素(D. U. Ahn等1998^[8], Y. H. Kim等2002^[9])。本试验中,只有3 000、5 000 Gy辐照可使细菌总数在28 d时处于 5×10^5 以下。这是由于肉样原始菌数已达 10^3 以上,1 000 Gy辐照和调味液处理未能将其控制在 5×10^5 以下,只有加大辐照剂量才可取得良好的辐照效果。

3.2 调味液的抑菌作用

各种调味液由于内含物不同;其抑菌功能也不同,本试验采用生姜、丁香、桂皮3种香料作为调味液,其主要作用就是在抑菌的同时防止肉中脂肪氧化。本试验中调味液的抑菌作用在细菌总数上表现显著,其对假单胞菌也有一定的抑制作用,但它对肠杆菌科菌、乳酸菌、嗜冷菌的作用都不明显,因此在分析肠杆菌科菌为何致死率最高时,并未提到调味液的作用。Marazzella等人研究了香辛料精油和提取物对多种微生物的抑菌效果,发现丁香、生姜对大肠杆菌无抑制作用,桂皮只有略微作用(涂顺明等,食品杀菌新技术^[10])。基于调味液的抑菌功能在本试验中并不突出。作者认为是由于本试验采用辐照剂量较大,达到5 000 Gy,而原料肉的初始菌数也较高,从而使得调味液的抑菌作用被大剂量辐照掩盖。

3.3 辐照和调味液对TBARS值的影响

关于辐照对肉中脂肪氧化的影响, Y. H. Kim等^[9](2002)认为:动物种类、辐照剂量、贮存时间、包装条件都可显著影响TBARS值。他还认为:控制氧气透入比控制辐照剂量对抑制TBARS值更为重要。K. C. Nam等^[11]认为辐照剂量和包装对猪肉和鸡肉的TBARS值影响较大,而对牛肉影响不大。D. U. Ahn等^[8](1998)认为:肉中脂肪含量的多少对辐照肉的脂肪氧化也起着很重要的作用。试验中采用肉的种类一致,所取肉样也尽可能一致,可排除肉中脂肪含量对TBARS值的影响。试验结果显示:贮存末期,未经保鲜处理组的TBARS值随辐

照剂量的上升, TBARS 也随之增大。说明高剂量辐照在未经调味液处理时, 其脂肪氧化严重。由此可见, 在抗氧化功能上, 调味液作用突出。研究人员发现, 生姜中所含的抗氧化物质有 12 种之多, 且其抗氧化性都优于 V_E 。香辛料中的抗氧化成份大都为酚类化合物^[12]。而辐照对肉中脂肪的影响就是通过照射形成自由基, 然后造成脂肪氧化。然而酚类化合物可以供给油脂过氧化自由基质子使其还原, 酚型抗氧化剂则形成稳定的自由基共振体。由于油脂过氧化自由基夺取此类抗氧化剂的氢原子的反应速度比夺取脂肪 α -亚甲基上氢原子速度快 4 个数量级, 因此这种抗氧化剂能有效阻止油脂自动氧化中的自由基。Mahrou, Lacroix 等^[13]都证实天然香辛料可以抑菌并防止猪肉和家禽脂肪氧化。本试验有力地证明了这一点, 调味液处理后, 3 000、5 000 Gy 辐照组 28 d 时 TBARS 值在 0.5 以下, 显著控制了辐照肉的脂肪氧化。

3.4 辐照和调味液处理的推广应用

辐照对肉产生的劣变一直是阻止辐照肉发展的障碍之一, 如何控制好辐照肉的脂肪氧化是本试验关注的主要问题, 采用调味液处理很好的解决了这一问题, 使得高剂量(3 000、5 000 Gy)辐照肉的 TBARS 值也在国标以下。在实际生产中, 原料肉的生产环节多, 初始菌数可能较高, 采用低剂量辐

照效果不显著, 而采用高剂量辐照又会引起脂肪氧化等劣变, 本试验采用调味液处理很好地解决了这一问题, 在生产中有一定的实际应用潜力。

4 结 语

1) 本试验原料肉初始菌数较高, 1 000 Gy 辐照杀菌效果不显著, 在 28 d 时其菌数都超过 5×10^5 cfu/g 的标准, 只有当剂量增大至 3 000、5 000 Gy 后, 辐照杀菌效果才明显, 肠杆菌科菌、嗜冷菌对 1 000 Gy 辐照敏感, 而乳酸菌、假单胞菌属就不敏感, 要得到最好的杀菌效果, 当然辐照剂量越高越好。

2) 调味液对细菌总数有一定的抑制作用, 相比之下, 其对 TBARS 值的控制贡献更大, 因此采用较高剂量的辐照来很好地控制微生物的生长及对致病菌的杀灭, 而不用担心脂肪氧化。作者发现采用 5 000 Gy 辐照结合调味液处理组, TBARS 值只有 0.23 mg/kg, 未超国标(0.50 mg/kg), 比未经调味液处理组都低。而乳酸菌、嗜冷菌、肠杆菌科菌、假单胞菌属、细菌总数对数值分别为 4.50, 1.57, 0.70, 2.38, 2.90, 明显低于国标(5.69)。同时, 在整个贮存期内, 调味液处理组的辐照味要明显小于未经保鲜处理组, 色泽也并无明显改变, 贮存效果良好。

参考文献(References):

- [1] Thayer D W, Fox J R, J Bard Lakritz L. Effects of ionizing radiation Treatments on the microbiological, nutritional, and structural quality of meats[M]. Washington DC: American Chemical Society Acs Symposium Series, 1993.
- [2] M Lacroix, W Smoragiewicz, M Jobin, et al. Protein quality and microbiological changes in aerobically- or vacuum-packaged, irradiated fresh pork loins[J]. *Meat Sci*, 2000, 56: 31-39.
- [3] Margaret Patterson. Irradiation in combination with other preservation techniques[J]. *Radiat Phys Chem*, 1996, 48: 367-368.
- [4] 马丽珍. 冷却猪肉物理和生物方法综合保鲜技术研究[D]. 北京: 中国农业大学博士论文, 2003.
- [5] Lebepe S, Molins R A, Charoen S P, et al. Changes in microflora and other characteristics of vacuum-packaged pork loins irradiated at 3.0 kGy[J]. *J Food Sci*, 1990, 55: 918-924.
- [6] M K Dogbevi, C Vachon, M Lacroix. The effect of gamma irradiation on physicochemical and microbiological quality of fresh pork loins[J]. *Radiation Physics and Chemistry*, 2000, 57: 231-263.
- [7] 孔保华, 罗欣, 彭增起. 肉制品工艺学[M]. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 1996.
- [8] D U Ahn, D G Olson, C Jo, et al. Effect of muscle type, packaging, and irradiation on lipid oxidation, volatile production, and color in raw pork patties[J]. *Meat Science*, 1998, 49: 27-39.
- [9] Y H Kim, K C Nam, D U Ahn. Volatile profiles, lipid oxidation and sensory characteristics of irradiated meat from different animal species[J]. *Meat Science*, 2002, 61: 257-265.
- [10] 涂顺明, 邓丹霞, 余小林, 等. 食品杀菌新技术[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2004.
- [11] K C Nam, M Du, C Jo, et al. Cholesterol oxidation products in irradiated raw meat with different packaging and storage time[J]. *Meat Science*, 2001, 58: 431-435.
- [12] 王建新, 袁平海. 香辛料原理及应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [13] Mahrou A, Lacroix M, Nketsa-Tabiri J, et al. Antioxidant properties of natural substances in irradiated fresh poultry[J]. *Radiation Physics and Chemistry*, 1998, 52: 77-80.

(责任编辑: 李春丽)