

红肉及加工肉制品与癌症风险关系的研究进展

牛海力, 孔保华*

(东北农业大学食品学院, 黑龙江 哈尔滨 150030)

摘要: 世界卫生组织分支机构——国际癌症研究机构 (International Agency for Research on Cancer, IARC) 近期发表调查报告, 将加工肉制品及红肉分别列为1类致癌物和2A类致癌物。此说法的严谨性和科学性受到世界畜产品加工研究者的质疑。红肉本身不会致癌, 并且肉中含有许多营养物质 (蛋白质、脂肪、维生素和微量营养素等), 具有重要的生理作用, 为维持人体健康提供了营养和能量来源。本文综述了红肉及加工肉制品与癌症关系的研究结果, 肉中可能存在的有害物质及其控制, 肉中主要的营养成分及其生理作用以及关于红肉及加工肉制品合理膳食的建议。

关键词: 红肉; 加工肉制品; 癌症

A Review of the Association of Consumption of Red Meat and Processed Meat Products with Carcinogenic Risks

NIU Haili, KONG Baohua*

(College of Food Science, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: Recently, the branch of the World Health Organization (WHO)—the International Agency for Research on Cancer (IARC) published a report stating that processed meat and red meat were classified as a Group 1 carcinogen and a Group 2A carcinogen, respectively. The rigor and scientificity of this theory has been doubted by researchers engaged in meat product processing all over the world. Red meat itself does not cause cancer, and many nutrients (protein, fat, vitamins, trace nutrients, and so on) are contained in it, which play an important physiological role in the maintenance of human health as material and energy sources. This paper reviews the progress made in the study of the relationship between red meat and processed meat and cancer, the presence and control of possible harmful substances in meat, the main nutritional components in meat and their physiological roles, and suggestions on reasonable consumption of red and processed meat.

Key words: red meat; processed meat; cancer

中图分类号: TS251.5

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123 (2015) 12-0006-06

doi: 10.15922/j.cnki.rlyj.2015.12.002

红肉是指原料肉为红色, 并且在加热之后颜色不会变白的一类肉, 包括牛肉、猪肉、小牛肉、羔羊肉和马肉。加工肉制品是指经过烟熏、腌制、盐渍等加工处理后的一类肉制品^[1]。肉及肉制品中含有丰富的蛋白质及营养素等, 是人类日常饮食的一部分, 为维持人体健康提供了必要的营养物质。然而, 2015年10月26日, 世界卫生组织 (World Health Organization, WHO) 分支机构——国际癌症研究机构 (International Agency for Research on Cancer, IARC) 对加工肉制品和红肉的致癌性进行了评价并发布了调查报告, 将加工肉制品列为1类致癌食品 (致癌), 与目前公认的石棉、砒霜和烟草等并列。红肉被列为2A类致癌物, 与氯霉素、甲醛、多氯联苯等并列。这一说法的科学性和严谨性受到全球畜产

品加工研究者的质疑。

中国畜产品加工研究会2015年10月30日对于国际癌症研究机构发表的关于加工肉制品及红肉致癌性的研究结果持质疑的态度^[2]。其原因首先是, 世界卫生组织发布的这份报告主要是基于结/直肠癌的流行病学结果, 并且研究对象为已经患病的人群, 采取病人回忆的方式记录其饮食, 因此, 结果的严谨性受到质疑; 第二, 世界卫生组织报告的前提是每天都过量摄入肉制品, 而现实生活中人们不可能达到每天都过量摄入, 因此, 这种红肉和加工肉制品致癌的说法不准确; 第三, 想要证明红肉及加工肉制品为致癌食品, 需通过严格的动物实验及人体实验, 但世界卫生组织报告的结果只是基于文献报告的统计学结果, 并没有严格的动物实验及人体实验; 第

收稿日期: 2015-11-22

基金项目: 黑龙江省应用技术与开发计划重大项目 (GA15B302)

作者简介: 牛海力 (1991—), 女, 博士研究生, 研究方向为畜产品加工及贮藏工程。E-mail: neaunhl@sina.com

*通信作者: 孔保华 (1963—), 女, 教授, 博士, 研究方向为畜产品加工及贮藏工程。E-mail: kongbh@163.com



四, 尽管有些加工肉制品在加工过程中会产生一些苯并芘和亚硝胺等有害物质, 但是近年来, 由于食品加工技术的改进, 比如采用烟熏液替代过去木屑发烟的方法, 食品中残留的有害物质数量已大大降低, 并且达到了安全、可接受的水平。因此, 国际癌症研究机构发表的这份报告的准确性和严谨性受到质疑。

尽管肉制品中含有据流行病学和动物实验推测有致癌作用的成分, 但是由于红肉本身并不致癌^[2], 而且其营养价值丰富, 我们不能因肉中可能存在的一些副作用成分而大大忽视其营养学性质, 因此, 本文主要综述红肉及加工肉制品与癌症关系的研究结果, 肉中可能存在的有害物质及其控制, 肉中主要的营养成分及其生理作用以及关于红肉及加工肉制品合理膳食的建议。

1 红肉及加工肉制品与癌症关系的研究报道

目前关于癌症发生和过量肉制品的消费的关系有一些研究, 在这些研究报道中有些表明癌症和红肉及肉制品的过量摄入有一定的关系, 但是也有一些报道认为红肉和癌症的发生没有关系。

1.1 结/直肠癌

近年来, 结/直肠癌在西方发达国家的发病率迅速增加, 是全球癌症死亡率较高的一种。结/直肠癌的致病原因有两种: 基因遗传和环境因素。研究报告指出, 基因遗传导致结/直肠癌发病的比例仅占20%, 其余的80%是由环境因素引起^[3]。一些文献报道, 根据流行病学和动物实验的研究结果说明食用红肉及加工肉制品会增加结/直肠癌的患病率, 而还有一些文献的观点与其不同。

Sandhu等^[4]表明每天增加红肉或总肉的摄入量100 g会提高结/直肠癌的发病率12%~17%, 每天增加加工肉制品的食用量25 g, 结/直肠癌的发病率会提高49%。Chan等^[5]发现当肉类及加工肉制品的摄入量增加到140 g/d, 结/直肠癌的发病率呈线性增加趋势。Smolinska等^[6]说明食用红肉及肉制品的频率对增加结/直肠癌患病率的风险高于食用红肉及肉制品的数量。Cross等^[7]对500万51~71岁的人进行平均8.2年的调查追踪, 发现有53 396例确诊为结/直肠癌患者, 并表明食用加工肉制品会增加结/直肠癌的患病率。Carr等^[8]对19篇文献中5种类型的肉类(牛肉、猪肉、羔羊肉、小牛肉和禽肉)的消费与结/直肠癌的关系进行研究, 得出结论牛肉和羔羊肉的消费会增加患结/直肠癌的风险, 而猪肉和禽肉则不会。另一方面, Ollberding等^[9]对165 717名多民族人群进行了调查研究, 说明食用肉类并不是导致结/直肠癌发病的原因。Alexander等^[10]也发现了相似的结果, 他们对35篇前瞻性研究进行荟萃分析, 并没有发现肉类的摄入量与结/直肠癌患病风险间的线性增加关系。

1.2 乳腺癌

Taylor等^[11]对绝经期前的妇女进行调查, 发现食用肉类及加工肉制品会增加乳腺癌的发病率。Namiranian等^[12]对3份研究结果进行荟萃分析, 说明每周食用肉类超过3次会显著增加乳腺癌的发病率。Alexander等^[13]对11篇前瞻性研究中食肉摄入量的最高值和最低值与乳腺癌的发病率关系进行荟萃分析, 得出结论乳腺癌的发病率与红肉摄入量没有关系, 而与加工肉制品的摄入量呈正相关。

1.3 膀胱癌

Wang Chaojun等^[14]对10篇病例队列研究和11篇病例对照研究进行荟萃分析, 比较摄入肉类的最高量和最低量, 说明随着肉类摄入量的增加, 膀胱癌的发病率并没有增加, 然而, 当肉类消费再增加时, 红肉和加工肉制品的总摄入量会显著增加膀胱癌的发病率。

1.4 其他癌症

食管癌在全球最易诊断的癌症中排名第8位, 在全球癌症死亡率排名中排列第6位, 食管癌包括食管鳞状细胞癌和食管腺癌^[15]。2007年, 世界癌症研究基金的研究组和美国癌症研究学会声明没有证据表明食用红肉及加工肉制品与食管癌的发病率相关^[16]。Bandera等^[17]研究了食用肉类与子宫内膜癌发病率的关系, 他们荟萃分析的结果表明每日摄入的总肉量达到100 g会使子宫内膜癌患病风险增加为1.26, 摄入100 g红肉患病风险增加为1.51, 摄入100 g禽肉患病风险增加为1.03。Lee等^[18]以530 469女性和244 483男性为研究对象, 研究肾细胞癌与食用肉类的关系, 结果表明, 总脂肪、饱和脂肪、单不饱和脂肪、多不饱和脂肪、胆固醇、总蛋白以及动物蛋白的摄入会显著增加肾细胞癌的发病率。Larsson等^[19]研究了胃癌与食用肉类的关系, 他们采用病例对照研究发现, 大量摄入加工肉制品会增加患胃癌的风险。

2 肉中可能含有的有害物质及其控制

2.1 硝酸盐和亚硝酸盐

硝酸盐和亚硝酸盐常在肉制品腌制过程中使用, 而其在肉制品中的使用量及在产品中的残留量在国家的法律中都有明确的规定^[20]。在古代就发现, 肉类经过腌制之后可以延长保质期, 并且会增加肉的风味。硝酸盐和亚硝酸盐可以相互转化, 且有效成分是亚硝酸盐。亚硝酸盐的作用首先是可以抑制肉毒梭状芽孢杆菌的生长以及其他许多类型腐败菌的生长; 第二, 亚硝酸盐可以与肌红蛋白反应, 生成稳定的一氧化氮肌红蛋白, 使肉色鲜艳; 第三, 由于亚硝酸盐具有还原性, 因此可以作为抗氧化剂延缓腌肉的腐败; 最后, 亚硝酸盐对于腌肉的风味有极大的影响, 若不使用亚硝酸盐, 腌肉制品只有

咸味。另一方面,亚硝酸钠很容易与肉中蛋白质分解产物二甲胺作用,生成二甲基亚硝胺。亚硝胺是目前国际上公认的一种强致癌物。目前,许多研究集中于亚硝酸盐的替代,并且已经应用于市场中。亚硝酸盐发色的替代方式主要有使用色素(胭脂树红^[21]、番茄红素^[22]、红曲色素)、微生物发酵法(乳酸菌^[23]和葡萄球菌^[24])以及一些新型的手段(如糖基化亚硝基血红蛋白^[25]和组氨酸发酵法^[26]);亚硝酸盐抗氧化作用的替代物主要有肌肽^[27]和茶多酚^[28]等;亚硝酸盐抗菌作用的替代物主要有壳聚糖^[29]和乳酸链球菌素等。

2.2 3,4-苯并芘

3,4-苯并芘是一种由5个苯环构成的多环芳烃,多环芳烃是数量最多的致癌物质,3,4-苯并芘是最具代表性的多环芳烃。多环芳烃可能在肉制品的烟熏、烧烤和油炸过程中产生,人和动物摄入后会导致肿瘤和癌变,对人体产生健康威胁,我国国标中规定3,4-苯并芘在肉制品中的残留量应在5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 以下^[30]。多环芳烃是由于木材的不完全燃烧产生的^[31]。近几年来随着食品工业的迅速发展,液熏技术已经广泛采用,采用烟熏液替代过去木屑发烟的方法,已大幅降低了肉制品中苯并芘的含量。另一方面,由于苯并芘的产生需要较高的温度,因此只要适当控制烟熏室的供氧量,让木屑缓慢燃烧,降低火势,从控制温度着手,在一定程度上可以降低苯并芘的生成。

2.3 杂环胺

杂环胺是一种多环芳香族化合物,具有致癌和致突变的作用,主要由肉中的蛋白质和氨基酸的热解产生,常存在于煎炸烘烤类肉制品中,长期食用对人体健康产生潜在的危险性。近年来,关于控制食品中杂环胺生成的手段主要有以下四方面:微波前处理^[32]、添加碳水化合物^[33]、添加抗氧化剂^[34]和腌制^[35]。Oz等^[36]研究了添加亚油酸对肉丸子中杂环胺生成量的抑制作用。Puangsombat等^[37]研究了迷迭香对煎牛肉饼中杂环胺的抑制作用。

2.4 反式脂肪酸

反式脂肪酸是一类含有一个或多个反式非共轭双键的不饱和脂肪酸,其空间构象呈线性^[38]。反式脂肪酸在天然食物中的含量很低,在肉制品中形成的主要途径是油炸。长期大量摄入反式脂肪酸会增加心脑血管疾病的发生率,并且对生长发育产生不利影响,一些研究甚至表明反式脂肪酸的摄入与糖尿病和癌症的发病有关。由于反式脂肪酸是在肉制品油炸过程中产生,因此减少油炸时间和降低油炸温度可以减少反式脂肪酸的生成量,采用间歇油炸的方式可以避免有害化合物达到危险水平而致癌^[39]。真空油炸技术将油炸与脱水作用有机地结合在一起,具有保色、保香和降低油脂劣变的优点。张芳

等^[40]采用真空油炸技术对传统熏鱼进行加工,可以有效地抑制油脂的氧化酸败并且缩短油炸时间、降低能耗。近年来绿色制造技术引起了人们广泛的关注,绿色制造技术是把绿色化学的原理应用到食品中来,对传统工艺进行改造^[41]。彭增起等^[42]采用绿色非油炸工艺加工烧鸡制品,并发现降低了产品中杂环胺和苯并芘的含量。

3 肉中含有的营养成分

虽然一些流行病学的研究结果表明食用肉类可能会增加某些疾病的发生率,但是不可否认肉类对于大脑特别是智力的发育尤为重要。肉中含有丰富的营养物质,并且对于人类正常的生长发育十分必要^[43]。肉类在人类的饮食中提供很多营养素,并且由于肉中含有高生物学效价的蛋白质、铁、锌、硒和VB₁₂,肉类在平衡饮食中起着关键的作用^[44]。

3.1 蛋白质

肉中含有丰富的蛋白质,并且肉中蛋白质的消化性好,肌肉组织中蛋白质含量达到18%~20%,普遍高于植物蛋白含量,并且肉中蛋白质的摄入不会导致体质量增加。文献表明,在膳食的能量控制中,限制其他因子而单纯改变红肉的消费量时,体质量不会增加^[45]。Hodgson等^[46]研究说明,适当的增加红肉的消费,会帮助降低血压,而不会增加血脂含量。肉类蛋白还具有一种重要的生理功能,即促进铁的吸收和防止钙的损失。肉中蛋白质含有人体不能自主合成的8种必需氨基酸^[47],其含量和比例均接近人体的需求,称之为全价的优质蛋白,而素食主义者需依靠谷类和豆类以获得完整的8种必需氨基酸,大米和小麦等谷类食物中赖氨酸含量低而豆类食品中甲硫氨酸含量少^[48]。

3.2 脂肪

肉类脂肪的含量高于其他植物性食品,脂肪中的某些脂肪酸是人体生长、发育与正常新陈代谢不可缺少的物质。肉中脂肪含量随不同品种和不同部位的变化而变化,肉中含有的 ω -3饱和脂肪酸可以与促血栓形成的 ω -6饱和脂肪酸部分抵消,因此具有降低血栓形成的作用^[49-50]。

3.3 维生素和矿物质

VA的主要来源是肝脏,约占VA摄入量的75%,而蔬菜中含有的 β -胡萝卜素对VA的转变率较低,远不及肝脏的作用。VA对于维持人体的生长发育十分必要,每摄入100 gVA相当于超出338%的推荐摄入量^[51]。VB₁₂可以降低巨成红细胞性贫血和不可逆的神经系统疾病的发生^[52]。根据Otten等^[53]的研究数据表明人体每天中等水平的食肉量,即男性每天食肉摄入量大约41~72 g,女性每天食肉摄入量大约24.2~45.5 g,大约可以获得的VB₁₂的量是男性(5.3 $\pm$ 4.0) μg ,女性(6.5 $\pm$ 6.0) μg ,完全满足人体



对于微量元素日需摄入量的要求。叶酸和 VB_{12} 一样都是甲基的供体,对于婴儿的生长发育十分重要^[54]。叶酸对于DNA的甲基化作用有很大的贡献作用,因此在预防癌症方面十分重要^[55]。

硒在人体中是一种必要的微量元素,100 g新鲜肉中硒的含量大约是40~50 μg ,硒以硒蛋白的形式存在,在心脑血管疾病和癌症预防方面有很重要的作用^[56]。锌对于维持细胞生长、增殖、促进骨生成和免疫等方面十分重要^[57-58]。锌的缺失会增加感染、氧化应激和机械损伤的风险^[59],因此锌对于人体也是一种十分必要的微量营养素。铁对于人类的健康有着不可忽视的作用,人体中铁的缺乏会导致一些生物活性(如儿童生长发育的紊乱)的损伤^[60-61]。

4 关于红肉及加工肉制品合理膳食的建议

虽然大量流行病学研究、动物实验和人体实验结果表明食用红肉及加工肉制品可能会增加癌症的风险,但是由于癌症并非单因素而导致的疾病,因此关于食用红肉及加工肉制品与癌症的关系还需进一步地定性和定量分析^[62]。文献表明,肉及肉制品中虽然含有一定的促癌物质,但还含有大量的保护因子(叶酸、VA、硒和锌等),这种保护因子可以由含水果、蔬菜的膳食得到优化,而且水果、蔬菜中的许多生物活性物质已经在体外证明具有很好的抗氧化性和抗癌作用^[62]。因此,关于食用红肉及加工肉制品的食用安全性问题人们不必过于惊慌,合理的膳食,保持良好的生活习惯对于预防癌症是十分必要的。

目前对于预防癌症的营养建议包括适当增加水果和蔬菜的摄入量、减少红肉和动物脂肪摄入、避免摄入过量酒精、适当补充含叶酸的复合维生素等^[63]。每天食用大量肉类或加工肉制品而不食用水果、蔬菜等食物不能平衡体内所需的各种营养素,而每天仅食用大量水果、蔬菜等食物而不食用肉类或加工肉制品,人类就回到了“穴居时代”^[64],并且会造成某些营养成分缺乏,导致一些疾病的发生。因此,合理饮食,平衡膳食,保持适量的运动对于维持身体健康具有重要的意义。

5 结 语

本文综述了红肉及加工肉制品与癌症关系的研究结果,肉中可能存在的有害物质及其控制,肉中主要的营养成分及其生理作用以及关于红肉及加工肉制品合理膳食的建议。针对世界卫生组织将红肉和加工肉制品列为致癌物这一说法,本文认为这一说法严密性不强。首

先,致癌是一个复杂而长期的过程,肉类本身不会致癌,不能仅由于加工肉制品中可能含有的少量有害物质定论,并且近年来由于机械设备和技术的改进,肉制品中残留的有害物质含量降低,已达到了安全、可接受的水平,因此说红肉和加工肉制品为致癌物这一说法严密性不强。其次,只有长期大量食用含有高量有害物的肉及肉制品才有可能致癌,根据人们正常的饮食习惯,达不到长期大量食用肉制品,因此这一说法严密性不强。最后,肉及肉制品中含有多种营养物质(包括蛋白质和微量营养素),对维持人体健康具有重要的意义,我们不能由于肉及肉制品中可能存在一些微量的有害物质而过分夸大其害处,“因噎废食”的做法不合理。粮食、水果、蔬菜和适量的肉类搭配食用,平衡饮食,将是今后人们合理的饮食结构。

参考文献:

- [1] MICHA R, WALLACE S K, MOZAFFARIAN D. Red and processed meat consumption and risk of incident coronary heart disease, stroke, and diabetes mellitus: a systematic review and meta-analysis[J]. *Circulation*, 2010, 121: 2271-2283.
- [2] 中国畜产品加工研究会质疑红肉加工肉致癌说[DB/OL]. (2015-10-30)[2015-11-02]. <http://www.caapp.com/News/ShowArticle.asp?ArticleID=486>.
- [3] GRIVENNIKOV S I. Inflammation and colorectal cancer: colitis-associated neoplasia[J]. *Semin Immunopathol*, 2013, 35(2): 229-244.
- [4] SANDHU M S, WHITE I R, Mc PHERSON K. Systematic review of the prospective cohort studies on meat consumption and colorectal cancer risk: a meta-analytical approach[J]. *Cancer Epidemiology, Biomarkers and Prevention*, 2001, 10(5): 439-446.
- [5] CHAN D S, LAU R, AUNE D, et al. Red and processed meat and colorectal cancer incidence: meta-analysis of prospective studies[J]. *PLoS One*, 2011, 6(6): e20456.
- [6] SMOLINSKA K, PALUSZKIEWIEZ P. Risk of colorectal cancer in relation to frequency and total amount of red meat consumption[J]. *Archives of Medical Science Ams*, 2010, 6(4): 605-610.
- [7] CROSS A J, LEITZMANN M F, GALL M H, et al. A prospective study of red and processed meat intake in relation to cancer risk[J]. *PLoS Medicine*, 2007, 4(12): e325.
- [8] CARR P R, WALTER V, BRENNER H, et al. Meat subtypes and their association with colorectal cancer: systematic review and meta-analysis[J]. *International Journal of Cancer*, 2015 Jan 12. doi: 10.1002/ijc.29423.
- [9] OLLBERDING N J, WILKENS L R, HENDERSON B E, et al. Meat consumption, heterocyclic amines and colorectal cancer risk: the multiethnic cohort study[J]. *International Journal of Cancer*, 2012, 131(7): E1125-1133.
- [10] ALEXANDER D D, CUSHING C A. Red meat and colorectal cancer: a critical summary of prospective epidemiologic studies[J]. *Obesity Reviews*, 2011, 12(5): e472-493.
- [11] TAYLOR V H, MISRA M, MUKHERJEE S D. Is red meat intake a risk factor for breast cancer among premenopausal women?[J]. *Breast Cancer Res Treat*, 2009, 117: 1-8.

- [12] NAMIRANIAN N, MORADI-LAKEH M, RAZAVI-RATKI S K, et al. Risk factors of breast cancer in the Eastern Mediterranean region: a systematic review and meta-analysis[J]. Asian Pacific Journal of Cancer Prevention, 2014, 15: 9535-9541.
- [13] ALEXANDER D D, MORIMOTO L M, MINK P J, et al. A review and metaanalysis of red and processed meat consumption and breast cancer[J]. Nutrition Research Reviews, 2010, 23: 349-365.
- [14] WANG Chaojun, JIANG Hai. Meat intake and risk of bladder cancer: a meta-analysis[J]. Medical Oncology, 2012, 29: 848-855.
- [15] QU X D, BEN Q W, JIANG Y. Consumption of red and processed meat and risk for esophageal squamous cell carcinoma based on a meta-analysis[J]. Annals of Epidemiology, 2013, 23: 762-770.
- [16] CHEN X, YANG G, DING W Y, et al. An esophagogastrroduodenal anastomosis model for esophageal adenocarcinogenesis in rats and enhancement by iron overload[J]. Carcinogenesis, 1999, 20(9): 1801-1808.
- [17] BANDERA E V, KUSHI L H, MOORE D F, et al. Consumption of animal foods and endometrial cancer risk: a systematic literature review and meta-analysis[J]. Cancer Causes and Control, 2007, 18(9): 967-988.
- [18] LEE J E, SPIEGELMAN D, HUNTER D J, et al. Fat, protein, and meat consumption and renal cell cancer risk: a pooled analysis of 13 prospective studies[J]. Journal of the National Cancer Institute, 2008, 100(23): 1695-1706.
- [19] LAESSON S C, BERGKVIST L, WOLK A. Processed meat consumption, dietary nitrosamines and stomach cancer risk in a cohort of Swedish women[J]. International Journal of Cancer, 2006, 119(4): 915-919.
- [20] HONIKEL K O. The use and control of nitrate and nitrite for the processing of meat products[J]. Meat Science, 2008, 78: 68-76.
- [21] ZARRINGHALAMI S, SAHARI M A, HAMIDI-ESFEHANI Z. Partial replacement of nitrite by annatto as a colour additive in sausage[J]. Meat Science, 2009, 81(1): 281-284.
- [22] DEDA M S, BLOUKAS J G, FISTA G A. Effect of tomato paste and nitrite level on processing and quality characteristics of frankfurters[J]. Meat Science, 2007, 76(3): 501-508.
- [23] GUNDOGDU A, KARAHAN A, CAKMAK M. Production of nitric oxide (NO) by lactic acid bacteria isolated from fermented products[J]. European Food Research and Technology, 2006, 223(1): 35-38.
- [24] MORITA H, NIU J, SAKATA R, et al. Red pigment of parma ham and bacterial influence on its formation[J]. Journal of Food Science, 2006, 61(5): 1021-1023.
- [25] 张红涛, 李沛军, 孔保华, 等. 糖化亚硝基血红蛋白制备工艺的优化及在肉糜中的应用[J]. 食品科技, 2012, 37(12): 94-97.
- [26] 杨锡洪, 夏文水. 亚硝酸盐替代物: 组氨酸发色作用的研究[J]. 食品与生物技术学报, 2005, 24(5): 102-106.
- [27] CRUSH K G. Carnosine and related substances in animal tissues[J]. Comparative Biochemistry and Physiology, 1998, 34(1): 3-30.
- [28] 杜伟, 张振中, 郭海英. 降低火腿肠中亚硝酸钠含量的研[J]. 肉类研究, 2003, 17(4): 6-8.
- [29] DARMADJI P, IZUMIMOTO M. Effect of chitosan in meat preservation[J]. Meat Science, 2001, 38(2): 243-254.
- [30] 胡奇杰, 沈黎炜, 戚民, 等. 高效液相色谱法测定肉制品中的苯并芘[J]. 食品研究与开发, 2010, 31(6): 146-149.
- [31] CONDE F J, AYALA J H, AFONSO A M, et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons in smoke used to smoke cheese produced by the combustion of Rock Rose (*Cistus monspeliensis*) and Tree Heather (*Erica arborea*) wood[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2005, 53(1): 176-182.
- [32] FELTON J S, FULTZ E, DOLTEARE F A, et al. Reduction of heterocyclic aromatic amine mutagens/ carcinogens in fried patties by microwave pretreatment[J]. Food and Chemical Toxicology, 1994, 30: 897-900.
- [33] WANG Y Y, VUOLO L L, SPINGAM N E, et al. Formation of mutagens in cooked foods. V. The mutagen reducing effect of soy protein concentrates and antioxidants during frying of beef[J]. Cancer Letters, 1982, 16: 179-189.
- [34] OGURI A, SUDA M, TOTSUKA K, et al. Inhibitory effects of antioxidants on formation of heterocyclic amines[J]. Mutation Research, 1998, 402: 237-240.
- [35] NERURKAR P V, MAREHAND L L, COONEY R V. Effect of marinating with Asian marinades or Western barbecue sauce on PhIP and MeIQx formation in barbecued beef[J]. Nutrition and Cancer, 1999, 34: 147-150.
- [36] OZ F, CAKMAK I H. The effects of conjugated linoleic acid usage in meatball production on the formation of heterocyclic aromatic amines[J]. LWT - Food Science and Technology, 2016, 65: 1031-1037.
- [37] PUANGSOMBAT K, SMITH J S. Inhibition of heterocyclic amine formation in beef patties by ethanolic extracts of rosemary[J]. Journal of Food Science, 2010, 75(2): 40-47.
- [38] 杨月欣, 韩军花. 反式脂肪酸: 安全问题与管理现状[J]. 国外医学: 卫生学分册, 2007, 34(2): 88-93.
- [39] GANBI H H A. Alteration in fatty acid profiles and formation of some harmful compounds in hammour fish fillets and frying oil medium throughout intermittent deep-fat frying process[J]. World Applied Sciences Journal, 2011, 12(4): 536-544.
- [40] 张芳, 包海蓉. 真空油炸技术在熏鱼制品加工中的应用[J]. 食品科学, 2008, 29(9): 264-267.
- [41] 王园, 惠腾, 赵亚楠, 等. 传统熏鱼中反式脂肪酸的形成机理及控制措施[J]. 肉类研究, 2013, 27(5): 40-44.
- [42] 彭增起, 闫莉萍, 王霞, 等. 一种苏鸡加工工艺: 中国, 200910181203.4[P]. 2010-01-06.
- [43] HIGGS J D. The changing nature of red meat: 20 years of improving nutritional quality[J]. Trends in Food Science and Technology, 2000, 11(3): 85-95.
- [44] de CASTRO-CARDOSO-PEREIRA P M, dos REIS-BALTAZAR-VICENTE A F. Meat nutritional composition and nutritive role in the human diet[J]. Meat Science, 2013, 93: 586-592.
- [45] 乔发东. 红肉的健康风险与特殊营养功用[J]. 食品研究与开发, 2012, 33(7): 176-180.
- [46] HODGSON J, BURKE V, BEILIN L J, et al. Partial substitution of carbohydrate intake with protein intake from lean red meat lowers blood pressure in hypertensive persons[J]. American Journal of Clinical Nutrition, 2006, 83(4): 780-787.
- [47] WILLIAMS P. Nutritional composition of red meat[J]. Nutrition and Dietetics, 2007, 64: S113-S119.
- [48] ELANGO R, BALL R O, PENCHARZ P B. Amino acid requirements in humans: with a special emphasis on the metabolic availability of amino acids[J]. Amino Acids, 2009, 37(1): 19-27.
- [49] CHRISOPHERSEN O A, HAUG A. Animal products, diseases and drugs: a plea for better integration between agricultural sciences, human nutrition and human pharmacology[J]. Lipids in Health and Disease, 2011, 10(1): 16.
- [50] MANN N, JOHNSON L, WARRICK G, et al. The arachidonic acid content of the australian diet is lower than previously estimated[J]. The Journal of Nutrition, 1995, 12: 2528-2535.
- [51] USDA. USDA National nutrient database for standard reference, release 24[S]. America: USDA, 2011.



- [52] THOMSON C A, STANAWAY J D, NEUHOUSER M L, et al. Nutrient intake and anemia risk in the women's health initiative observational study[J]. *Journal of the American Dietetic Association*, 2011, 111(4): 532-541.
- [53] OTTEN J, HELLWIG J, MEYERS L. Dietary reference intakes: the essential guide to nutrient requirements[M]. Washington, D.C.: The National Academies Press, 2006.
- [54] ZEISEL S H. Importance of methyl donors during reproduction 1-4[J]. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2009, 89(1): 673-677.
- [55] ANDERSON O S, SANT K E, DOLINOY D C. Nutrition and epigenetics: an interplay of dietary methyl donors, one-carbon metabolism and DNA methylation[J]. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 2012, 23(8): 853-859.
- [56] RAYMAN M P. The importance of selenium to human health[J]. *The Lancet*, 2000, 356: 233-241.
- [57] ETCHEVERRY P, HAWTHOME K M, LIANG L K, et al. Effect of beef and soy proteins on the absorption of non-heme iron and inorganic zinc in children[J]. *Journal of the American College of Nutrition*, 2006, 25(1): 34-40.
- [58] HAMBIDGE K M, KREBS N F. Zinc deficiency: a special challenge[J]. *Journal of Nutrition*, 2007, 137(4): 1101-1105.
- [59] PRASAD A S. Impact of the discovery of human zinc deficiency on health[J]. *Journal of the American College of Nutrition*, 2009, 28(3): 257-265.
- [60] GRANTHAM-MCGREGOR S, ANI C. A review of studies on the effect of iron deficiency on cognitive development in children[J]. *The Journal of Nutrition*, 2001, 131(2): 649S-668S.
- [61] LOZOFF B, GEOGIEFF M K. Iron deficiency and brain development[J]. *Seminars in Pediatric Neurology*, 2006, 13(3): 158-165.
- [62] 凌云. 肉类与癌症[J]. 国外医学: 卫生学分册, 2002, 29(5): 280-286.
- [63] 韩鹏飞, 唐偲雨. 红肉和肉制品摄入增加癌症风险的研究进展[J]. *中华全科医学*, 2011, 9(12): 1932-1933.
- [64] 叶海涵. 澳大利亚官员批红肉致癌说: 人类不能返回穴居时代[EB/OL]. (2015-10-29)[2015-11-09]. http://news.hangzhou.com.cn/gjxw/content/2015-10/29/content_5963482.htm.