

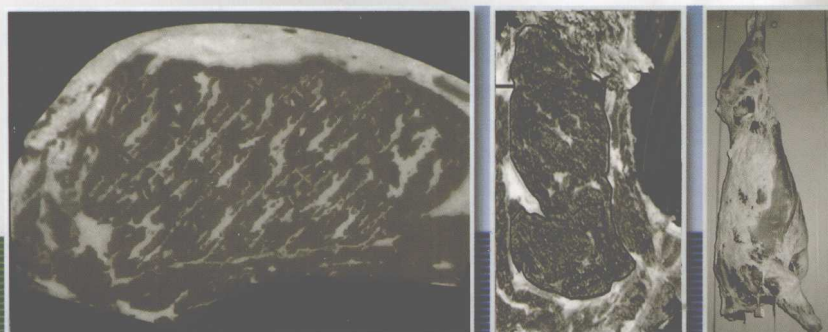


现代农业高新技术成果丛书

动物肌肉生物学与肉品科学

Animal Muscle Biology and Meat Quality

尹靖东 主编



中国农业大学出版社

CHINA AGRICULTURAL UNIVERSITY PRESS



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

现代农业高新技术成果丛书

动物肌肉生物学与肉品科学

Animal Muscle Biology
and Meat Quality

尹靖东 主编



中国农业大学出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

国内外将肌肉生物学与肉品科学有机地联系在一起的专业书籍很少,而对肉质改良的论述大多基于经验性的研究,缺乏系统深入的专业理论支撑。针对这一情况,本书立足于国际上动物肌肉生物学和肉品质研究的最新前沿,凝练了我国近年来在国家重点基础研究计划、国家科技支撑计划、863 计划和国家自然科学基金等项目的资助下在畜禽肉品质形成机制与调控方面取得的研究成果,也介绍了国际这一领域取得的研究进展。本书内容包括畜禽肉品质的消费价值取向、影响畜禽肉品质的动物肌肉生物学特性及其形成的机制,通过对畜禽骨骼肌发育与肉品质、脂肪组织发育与肉品质和动物饲养管理与肉品质关系的介绍,从遗传、生理、营养和饲养等角度系统阐述肉品质形成的研究成果。希望本书的出版对我国动物肌肉生物学与肉品质研究起到积极推动作用,促进我国优质畜禽肉产品的生产和实践。本书可作为从事畜禽肌肉生物学和肉质调控科研人员的参考书,也可以作为本科生、研究生的教材和辅助材料。

图书在版编目(CIP)数据

动物肌肉生物学与肉品科学/尹靖东主编. —北京:中国农业大学出版社,2011. 12
ISBN 978-7-5655-0458-7

I. ①动… II. ①尹… III. ①动物—肌肉组织—生物学—研究②畜禽—肉类—食用
品质—研究 IV. ①Q954.66②TS251.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 251928 号

书 名 动物肌肉生物学与肉品科学

作 者 尹靖东 主编

策划编辑 孙 勇

责任编辑 田树君

封面设计 郑 川

责任校对 王晓凤 陈 莹

出版发行 中国农业大学出版社

社 址 北京市海淀区圆明园西路 2 号

邮政编码 100193

电 话 发行部 010-62818525,8625

读者服务部 010-62732336

编辑部 010-62732617,2618

出 版 部 010-62733440

网 址 <http://www.cau.edu.cn/caup>

e-mail cbsszs @ cau.edu.cn

经 销 新华书店

印 刷 涿州市星河印刷有限公司

版 次 2011 年 12 月第 1 版 2011 年 12 月第 1 次印刷

规 格 787×1092 16 开本 28 印张 690 千字 彩插 2

定 价 98.00 元

图书如有质量问题本社发行部负责调换

现代农业高新技术成果丛书

编审指导委员会

主任 石元春

副主任 傅泽田 刘 艳

委员 (按姓氏拼音排序)

高旺盛 李 宁 刘庆昌 束怀瑞

佟建明 汪懋华 吴常信 武维华

编 委 会

主 编 尹靖东

副 主 编 杜 敏 靳 焱

主要编者 (按姓氏拼音排序)

陈代文 杜 敏 冯 杰 黄志清 江青艳

靳 焱 孔祥峰 李凤娜 林 海 卢 媛

马长伟 齐广海 单体中 沈清武 宋志刚

王松波 汪以真 武振龙 杨 勇 杨晓静

杨在清 尹靖东 岳洪源 赵丽华 周 磊

主 审 李德发

出版说明

瞄准世界农业科技前沿,围绕我国农业发展需求,努力突破关键核心技术,提升我国农业科研实力,加快现代农业发展,是胡锦涛总书记在 2009 年五四青年节视察中国农业大学时向广大农业科技工作者提出的要求。党和国家一贯高度重视农业领域科技创新和基础理论研究,特别是 863 计划和 973 计划实施以来,农业科技投入大幅增长。国家科技支撑计划、863 计划和 973 计划等主体科技计划向农业领域倾斜,极大地促进了农业科技创新发展和现代农业科技进步。

中国农业大学出版社以 973 计划、863 计划和科技支撑计划中农业领域重大研究项目成果为主体,以服务我国农业产业提升的重大需求为目标,在“国家重大出版工程”项目基础上,筛选确定了农业生物技术、良种培育、丰产栽培、疫病防治、防灾减灾、农业资源利用和农业信息化等领域 50 个重大科技创新成果,作为“现代农业高新技术成果丛书”项目申报了 2009 年度国家出版基金项目,经国家出版基金管理委员会审批立项。

国家出版基金是我国继自然科学基金、哲学社会科学基金之后设立的第三大基金项目。国家出版基金由国家设立、国家主导,资助体现国家意志、传承中华文明、促进文化繁荣、提高文化软实力的国家级重大项目;受助项目应能够发挥示范引导作用,为国家、为当代、为子孙后代创造先进文化;受助项目应能够成为站在时代前沿、弘扬民族文化、体现国家水准、传之久远的国家级精品力作。

为确保“现代农业高新技术成果丛书”编写出版质量,在教育部、农业部和中国农业大学的指导和支持下,成立了以石元春院士为主任的编审指导委员会;出版社成立了以社长为组长的项目协调组并专门设立了项目运行管理办公室。

“现代农业高新技术成果丛书”始于“十一五”,跨入“十二五”,是中国农业大学出版社“十二五”开局的献礼之作,她的立项和出版标志着我社学术出版进入了一个新的高度,各项工作迈上了新的台阶。出版社将以此为新的起点,为我国现代农业的发展,为出版文化事业的繁荣做出新的更大贡献。

中国农业大学出版社

2010 年 12 月

前 言

在人类社会早期，动物以人类狩猎和驯化的对象为人类提供了赖以生存的食物。畜牧业出现后，畜禽肉为人类提供了必需的蛋白质、脂类、维生素等多种营养素。20世纪养殖业经历了前所未有的发展，畜禽生产性能和瘦肉率大幅度提高，肉的供给实现了前所未有的丰富，但与此同时消费者发现肉的品质下降到了只堪忍受的程度。虽然不同的饮食文化中肉烹饪的方法各异，而且消费者对肉质特性的喜好也有区域性，但肉质下降是全球消费者和肉品行业的共识。这其中有两个方面的因素：①过去半个多世纪对畜禽生长性能和瘦肉率的过分追求，导致动物肌肉发育和代谢失去平衡，肉质下降了；②消费者对肉质的鉴赏能力提高了，对肉品质的追求也变高了。

肉品质的优劣取决于动物肌肉的生物学特性，如肌纤维组成类型、肌纤维糖原含量和能量代谢方式、肌内脂肪含量、肌肉结缔组织的含量和性质、肌红蛋白含量等。动物肌肉生物学特性受遗传、营养和饲养管理等内外因素的共同影响，因此改善肉品质就需要深入认识动物肌肉生物学，了解肌肉的组成、结构，发生、发育的调节机制以及营养需要。另外，在动物饲养过程中饲养方式、环境条件以及动物屠宰环节中的各种应激和宰后肉的处理都会显著地影响肉的品质。肉品质是影响消费者购买愿望的决定性因素，具有极大的经济价值。提高畜禽肉的品质是关系到消费者获得高品质肉、畜牧业健康发展和提升肉的经济价值等的重要课题，因此高效、环保、安全地生产优质肉，具有重要的意义。

《动物肌肉生物学与肉品科学》一书立足于国际上动物肌肉生物学和肉品质研究的最新前沿，凝练了国家重点基础研究计划(973)项目“畜禽肉品质性状的形成及营养调控”的研究成果。在编撰中，鉴于国内在肌肉生物学领域的研究历史比较短，对于肉品质的研究离不开肉品科学中的一些概念和评价方法，但二者衔接不足，一些概念相互间还不统一，有必要梳理并建立研究肉品质形成机制的框架体系。因此，为了使读者更好地理解肉质形成的机制和团队研究成果的意义，本书突破了原拟定的书名“畜禽肉品质性状的形成与营养调控”的范畴，拓展为“动物肌肉生物学与肉品科学”，在书中引入了肉品科学的一些概念和评价方法，并介绍了国际上肉质性状形成机制及其调控方面的最新研究成果。本书还汇集了“十一五”国家科技支撑计划项目“荣昌猪特色性状研究与优势性状基因的筛选和鉴定”、广东省-国家自然科学基金委重点项目“蓝塘猪肉质性状形成的分子机理及其在猪肉改良中的意义”、国家自然科学基金

项目“氯离子胞内通道基因在猪肌内脂肪沉积中的作用及其调控途径的研究”等最近十年的科研项目的主要研究成果,经过认真梳理而成。

国家重点基础研究计划(973)项目“畜禽肉品质性状的形成及营养调控”由李德发教授主持,在其过程中,李德发教授委托我以该项目成果为核心主持编写《动物肌肉生物学与肉品科学》。在李德发教授的热情鼓励和大力支持下,在项目研究团队同仁的鼎力支持下,《动物肌肉生物学与肉品科学》一书得以完成。

本书由中国农业大学、美国华盛顿州立大学、内蒙古农业大学、西北农林科技大学、华南农业大学、四川农业大学、南京农业大学、华中农业大学、浙江大学、中国科学院亚热带农业生态研究所、中国农业科学院饲料研究所、山东农业大学和重庆畜牧科学院的科研人员共同编写。本书编著者大多是973计划支持的团队或是其他国家科研项目在肉质研究方面的合作团队的成员,或者是长期从事肉品质研究领域的专家。本书在编著伊始,与华盛顿州立大学的杜敏教授讨论了编撰提纲,也征求了国内同行专家的意见,共同制定了本书的编写提纲。初稿完成后,大部分作者专门就本书的修改完善在北京召开了一次研讨会,确定了全书的修改方向,并针对各章提出了完善意见,在此基础上完成了第二稿,最后全书由尹靖东统稿。本书的编著历时一年半,各位老师、专家都是在科研教学的繁忙工作中,抽出时间完成书稿,为本书的付梓奉献了大量心血,在此表示由衷的感谢!

国内外将畜禽肌肉生物学与肉品质联系在一起的专业书籍很少,而同时从遗传、营养和饲养环境等角度系统阐述肉品质的形成与改善更是空缺。因此,笔者在科研和教学中深感这方面资料的欠缺,希望本书的出版对我国动物肌肉生物学与肉品质改善的研究起到积极的推动作用。该书内容以猪为主,兼顾牛(羊)和禽的肉质,在机制阐述方面不限动物种类,使用了人和鼠的最新研究材料。由于肉质形成的复杂性,各章在从不同角度阐述肉品质形成的过程中,内容有所交叉,在统稿过程中通过详略和侧重有别的策略对各章内容进行了适当调整,在保持各章的完整性和编著特色的情况下,尽量避免内容重叠。本书可作为畜禽肌肉生物学和肉质调控科研人员的参考书,也可以作为本科高年级学生、研究生的教材和辅助材料使用。

受编著者水平所限,书中错误和不足在所难免,欢迎广大读者批评指正。

尹靖东

2011年10月

目 录

第 1 章 消费者对肉品质的价值取向与畜禽肉品质评价	1
1.1 消费者对肉品质的价值取向	1
1.2 肉的营养价值与保健功能	7
1.3 消费者对肉品质安全性的需求.....	14
1.4 畜禽肉品质的评价.....	15
参考文献	23
第 2 章 影响肉品质的因素与肉用畜禽的种质资源	25
2.1 影响畜禽肉品质的因素.....	25
2.2 肉用畜禽的种类及品种.....	34
参考文献	53
第 3 章 肌肉的组成与结构及宰后肌肉变化与肉品质形成	57
3.1 骨骼肌的化学组成.....	58
3.2 骨骼肌的结构.....	59
3.3 肌肉收缩.....	78
3.4 宰后肌肉的变化与肉品质.....	83
参考文献	90
第 4 章 畜禽肉质性状形成的遗传与分子机制	94
4.1 肉品质与动物选育.....	95
4.2 肉用农业动物基因组图谱.....	96
4.3 畜禽肉质性状的数量性状位点(QTL)	98
4.4 畜禽肉质性状的主效基因的分离、鉴定.....	100
4.5 肉质性状的基因网络与肉质营养调控的分子基础	109
参考文献.....	111
第 5 章 母体营养对胎儿发育和子代脂肪及结缔组织沉积的影响	116
5.1 胎儿程序化发育	116

5.2	胎儿发育与肌肉、脂肪和胶原纤维生成.....	117
5.3	胎儿发育对其出生后生产性能的影响.....	121
5.4	调控间充质干细胞分化的分子机制.....	123
	参考文献.....	125
第6章	骨骼肌的发生、发育及其调控.....	132
6.1	骨骼肌的发生与发育.....	133
6.2	骨骼肌发生与发育的调控.....	137
6.3	成体骨骼肌的再生及其调控.....	151
6.4	肌肉来源干细胞与脂肪生成.....	158
	参考文献.....	160
第7章	肌纤维类型转化与营养调控.....	164
7.1	肌纤维类型形成与肌纤维发育.....	164
7.2	肌纤维类型转化及其机制.....	171
7.3	肌纤维类型转化的营养调控.....	181
	参考文献.....	183
第8章	肌肉能量代谢与肉品质.....	197
8.1	肌肉的能量代谢.....	197
8.2	影响肌肉能量代谢状况的主要因素.....	201
8.3	肌肉代谢的内分泌调节.....	207
8.4	肌肉的代谢类型与肉品质.....	211
	参考文献.....	212
第9章	畜禽脂肪的组成、变化与肉品质.....	215
9.1	脂肪的种类.....	215
9.2	畜禽脂肪的组成.....	216
9.3	畜禽脂肪对肉品质的影响.....	219
9.4	贮藏或加工中脂肪与脂肪酸的变化对肉制品品质的影响.....	222
9.5	现代养殖业中与畜禽脂肪有关的肉品质问题.....	230
	参考文献.....	236
第10章	畜禽脂肪生成的调控与脂肪组织的分泌.....	244
10.1	脂肪细胞.....	244
10.2	脂肪细胞和脂肪组织的起源.....	246
10.3	脂肪细胞分化过程.....	246
10.4	细胞的成脂分化及其调控.....	248
10.5	脂肪细胞分泌因子及其功能.....	258
	参考文献.....	271
第11章	猪肌内脂肪沉积及其调控.....	289
11.1	肌内脂肪的定义.....	289
11.2	肌内脂肪与肉品质的关系.....	289

11.3 肌内脂肪发生、生成与分布	290
11.4 肌内脂肪沉积的营养调控	297
参考文献	301
第 12 章 畜禽脂肪代谢与营养调控	307
12.1 畜禽脂肪代谢	307
12.2 畜禽脂肪代谢的营养调控	322
参考文献	332
第 13 章 肉品质的营养调控	343
13.1 饲料与肉品质	343
13.2 维生素与肉品质	349
13.3 微量元素与肉品质	359
13.4 氨基酸类似物与肉品质	367
13.5 不饱和脂肪酸与肉品质	369
13.6 中草药类添加剂与肉品质	372
参考文献	374
第 14 章 宰前处理对肉品质的影响	379
14.1 宰前禁食对肉品质的影响	379
14.2 宰前运输对肉品质的影响	380
14.3 宰前管理对肉品质的影响	385
14.4 宰前致晕方式对肉品质的影响	385
14.5 改善肉品质的屠宰和宰后处理技术	390
14.6 缓解宰前应激对肉品质量不利影响的措施	393
参考文献	394
第 15 章 应激对肉品质的影响	401
15.1 应激与肉品质的关系	401
15.2 应激影响畜禽肉品质的生理生化途径	402
15.3 应激影响肉品质的机制	408
15.4 应激的防控	411
参考文献	417
第 16 章 肉品卫生检验	422
16.1 肉品污染的分类	423
16.2 肉品污染对人类健康的影响	429
16.3 肉类食品的特征及品质评定	430
16.4 熟肉制品的卫生检验	432
16.5 肉制品的卫生评价	434
参考文献	435

消费者对肉品质的喜好有很强的地域性,这种喜好往往受到消费者所处地域的禀赋、宗教信仰、人文环境、消费水平以及生活方式的影响。一般地讲,欧美国家偏爱肉食,而东亚地区以素食或素肉兼食为主。在我国,北方地区消费牛羊肉多一些,而南方地区的肉食消费以猪肉为主;城镇消费牛羊肉比重大些,而农村消费猪肉比重相对较大。不管肉的消费品质特性的科学基础如何,其消费取向最终由消费者的消费习惯及个人喜好来决定。如有些人喜食质地相对硬一点(有嚼劲儿)的肉,而更多的人喜欢细嫩柔滑的肉。日本消费者喜好浅红色的牛肉,而欧洲消费者更喜好鲜红色的牛肉。Dransfield 等(1984)曾对阉割牛的后最长肌(烤)和半膜肌(炖)的消费品质进行了比较,共有 8 个欧盟国家的肉类研究人员参与评价。结果发现,爱尔兰人和英格兰人认为风味是最重要的消费品质指标,其次是嫩度和多汁性;而意大利人的观点正好相反。法国人和比利时人更喜好老牛肉成熟后的风味。Rødbotten 等(2004)比较了 15 种畜禽肉的消费品质特性,发现质地是最重要的特性,其次是肉色,最不重要的是风味。多数的中国人可能并不会认同这一观点,由于烹调方法和消费习惯不同,我国人民对肉的风味(味道)敏感程度远远超过西方消费者。这些研究说明了采用同一个评价标准或同一个烹调方法来评价肉质是不可行的,但为了满足国际贸易的需要和肉的可比性,不同地区或国家都制定了相应的评价标准,如欧盟制定了肉用品质的通用标准。

近年来,小包装分割冷鲜肉销量逐年上升,人们更加关注畜禽肉消费品质的差异。不同的肉具有不同的品质,而消费者通过感官即可初步判定肉品质的好坏,肉感官品质直接影响着消费者的购买兴趣。

1.1 消费者对肉品质的价值取向

消费者对肉品质的评价往往是从感官评价开始的,例如对猪肉品质评定,现阶段仍以肉的

颜色(Meat color)、pH、保水力(Water holding capacity, WHC)或称系水力(Water binding capacity, WBC)以及肌内脂肪含量(Intramuscular fat)和嫩度(Meat tenderness)等 5 项指标作为依据。其中肉色、pH 和保水力是国际通用的区分生理正常与异常猪肉(PSE)的重要指标,因此研究肉的品质不能不考虑从肉的感官指标开始。肉的感官品质主要是指肉的外观、质地和风味,主要由肉色、嫩度、风味、脂肪的外观质量等基本要素组成。

1.1.1 肉色

通常人们对肉及肉制品的评价主要从色、香、味、嫩度几个方面进行,其中给人第一印象的就是肉的颜色。肉色是肉质的重要外观条件,它反映了肌肉生理、生化和微生物学的变化。

肉类的颜色在化学组成上是由肌红蛋白(Myoglobin, Mb)和血红蛋白(Hemoglobin, Hb)产生和决定的。肌红蛋白是一种色素蛋白,肉类颜色的深浅与其含量呈正相关,即肌红蛋白含量少,则肉类的颜色浅而淡;肌红蛋白含量多,则肉类的颜色深而浓,故按颜色把肉类划分为红肉类、白肉类和无色肉类。动物屠宰放血后肌肉色泽的 90% 以上是由肌红蛋白产生的。由于血红蛋白存在于血液中,所以经良好屠宰的肉类中血红蛋白的含量很少;反之,患病、过于疲惫的畜禽或屠宰放血不好的畜禽,由于肌肉里尚含有残存的血液,肌肉中既含有肌红蛋白,又含有血红蛋白,所以肉类的颜色比正常放血的肉类更加深暗一些。

肌肉中肌红蛋白的含量受动物种类、肌肉部位、运动程度、年龄、性别等因素的影响。各类动物的肉色有所差异,一般猪肉呈鲜红色,牛肉呈深红色,马肉呈紫红色,羊肉呈浅红色,兔肉呈粉红色。动物年龄越大肉色越深。活动量大的部位肉色较深。

肌红蛋白中铁离子的价态(还原态的 Fe^{2+} 或氧化态的 Fe^{3+})和与 O_2 结合的位置是导致其颜色变化的根本所在。在活体组织中, Mb 依靠电子传递链使铁离子处于还原状态。屠宰后的鲜肉,肌肉中的 O_2 缺乏, Mb 中与 O_2 结合的位置被 H_2O 所取代,使肌肉呈现暗红色或紫红色。肉切开后在空气中暴露一段时间就会变成鲜红色,这是由于 O_2 取代 H_2O 而形成氧合肌红蛋白(Oxymyoglobin, MbO_2) 之故。如果放置时间过长或是在低 O_2 分压的条件下贮放则肌肉会变成褐红色,这是因为形成了氧化态的高铁肌红蛋白(Metmyoglobin, MMb)(图 1-1)。

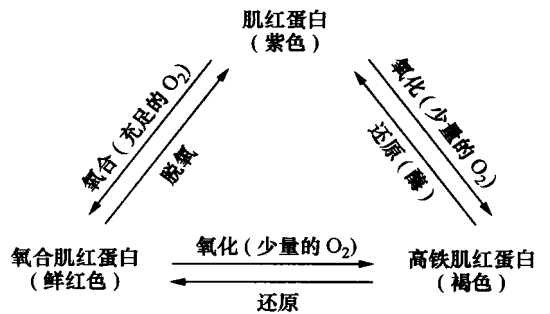


图 1-1 肌红蛋白、氧合肌红蛋白和高铁肌红蛋白之间的转化

由此可见, Mb 由于 O_2 的存在可变成鲜红色的氧合肌红蛋白(MbO_2)或褐色的高铁肌红蛋白(MMb)。这种比例依 O_2 的分压而定,氧分压低,则有利于 MMb 的形成,而氧分压高,则有利于 MbO_2 的形成。这种变化在活体组织中由于酶的活动电子传递链而可使 MMb 持续地还原成 Mb。动物在屠宰后,这种酶促的还原作用就会逐渐削弱乃至消失。因而,在商业上,常常将分割肉先进行真空包装,可在冷藏温度下保藏数周,使其在低 O_2 分压下形成 MMb,打开包装后,与 O_2 充分接触以形成鲜艳的 MbO_2 吸引消费者。而充气包装现已广泛用来延长冷却肉的货架期,常用气体有 CO_2 或 N_2 。此类包装中氧气含量非常低,肌肉表面的肌

红蛋白氧化形成高铁肌红蛋白。但在开袋销售过程中,高铁肌红蛋白可被肌肉中的还原酶还原成脱氧肌红蛋白,之后再行氧化。但必须要求包装一定时间以后,色素变化达到平衡状态时才不会影响肉的正常色泽(Gill等,1995)。

1.1.2 嫩度

嫩度是指人对肉入口后咀嚼过程中的感受,它主要由肌肉中肌原纤维、结缔组织和肌浆蛋白的含量与化学结构状态所决定,也一定程度上反映了肌肉中肌原纤维、结缔组织以及脂肪的含量、分布和化学状态。肌束中肌纤维数越多,肌纤维越细,肉就越嫩。嫩度还与肌内脂肪呈正相关。此外,动物的品种、年龄、肌肉部位、营养状态以及屠宰后的处理等都直接影响肉的嫩度。嫩度指标是西方消费者评价肉品质的第一指标或最重要的指标之一(Savell, 1989)。我国人民自古以来对饮食文化非常重视,发明的烹饪方法的要求是色香味俱佳,加之在肉的烹制中习惯“长时间”加热烹调,如炖、卤、酱等方法,因此对肉类嫩度的要求远不如美国、意大利等西方国家,但对肉风味的要求则远超过一般西方国家。近年来随着西餐在我国大行其道,人们开始重视肉的嫩度。

肉的嫩度是消费者最重视的食用品质之一,它决定了肉在食用时口感的老嫩,是反映肉质地(Texture)的指标,在评价牛肉、羊肉的食用品质时,嫩度指标最为重要。在感官品尝时,嫩度的总体印象是质地,分3个方面:①牙齿初次咬切肉的难易程度;②将肉嚼碎的难易程度;③咀嚼后的残渣量(Weir, 1960)。肉的嫩度与肌肉中结缔组织蛋白(胶原蛋白、弹性蛋白、网状蛋白、基质中的黏多糖)、胶原纤维蛋白(肌动蛋白、肌球蛋白、原肌球蛋白)、肌浆蛋白(肌浆蛋白质、肌质网)3类蛋白质有关。肉的嫩度与肉的硬度(肉的弹性)相对应,是硬度的倒数。目前有多种客观评价肉的嫩度的物理方法和化学方法。物理方法有剪切力测定法、穿刺法、咬切法、剁切法、压缩法及拉伸法。化学方法有结缔组织测定、酶法消化等。最常用的指标为切断力或剪切力,一般用切断一定肉断面所需要的最大剪切力表示,以kg为单位,一般在2.5~6.0 kg之间,低于3.2 kg时较为理想。

肉的嫩度本质上反映的是切断一定厚度的肉块所需要的力量。肉在切割过程中会受到肌纤维、结缔组织、脂肪等肌肉结构的阻力,因此,肉的嫩度在本质上取决于肌纤维类型、直径、密度及其完整性,肌内脂肪含量,结缔组织类型、含量及交联状况,钙激活中性蛋白酶酶活力等因素,这些因素及影响这些因素变化的内在和外在因素都会直接或间接地影响肉的嫩度。

肉的人工嫩化方法很多,物理法、化学法和生物学方法都能达到使肉嫩化的目的,但各种方法的适用范围、嫩化效果各不相同,在生产中可根据实际情况选择应用。常见的人工嫩化方法有低温吊挂自动排酸成熟法、电刺激嫩化技术、高压嫩化法、酶嫩化法、利用外力机械嫩化法、加热嫩化法和腌制嫩化法等方法。

低温吊挂自动排酸成熟法,是将动物半胴体后腿朝上,挂在10℃以下的低温库自动排酸成熟。自然完成宰后肉的僵直、解僵和成熟过程。由于肉体自身重量,在成熟过程中肌节自然拉长,有助于肉的嫩化。一般4℃左右的低温库中牛肉需要10 d左右,羊肉为1周,猪肉为3~5 d。经该法处理的肉品质量高、风味佳、色泽鲜艳,是所有嫩化方法中最理想的,也是目前我国高中档牛肉生产的主要方法,但该方法也存在占用冷库时间长、耗能大、易氧化、干耗高、易受嗜冷性细菌的污染、费用高和效率低的缺点。由于该部分内容属于肉品加工,其他方法这

里不再一一赘述。

1.1.3 风味

风味(Flavour)是一个综合的感觉,包括气味(Odour)、滋味(Taste)、质地、温度和 pH 等,其中气味最重要,其次是滋味。肉的风味是指生鲜肉的气味和加热后肉及肉制品的香气和滋味。它是由肉中固有成分经复杂的生理生化变化产生的各种有机化合物所致。其特点是成分复杂多样,含量甚微,用一般方法很难测定,除少数成分外,多数不稳定,加热易破坏和挥发。肉的味质是通过人的高度灵敏的嗅觉和味觉器官反映出来的。

1.1.3.1 气味

气味是肉中具有挥发性的物质,随气流进入鼻腔,刺激嗅觉细胞通过神经传导反射到大脑嗅区而产生的一种刺激感。香味为愉快感,异味、臭味为厌恶感。气味的成分十分复杂,有 1 000 多种。牛肉的香气,经实验分析有 300 种左右。与肉香味有关的物质主要有醇、醛、酮、酸、酯、醚、呋喃、吡咯、内酯、糖类及含氮化合物等,见表 1-1。由表中可见,肉香味化合物产生主要是 3 个途径:氨基酸与还原糖间的美拉德反应;蛋白质、游离氨基酸、糖类、核苷酸等生物物质的热降解;脂肪的氧化作用。

表 1-1 与肉香味有关的主要化合物

化合物	特性	发现于何种肉食	由何种反应产生
羰基化合物(醛、酮)	脂溶、挥发性	鸡肉和羊肉的特有香味、水煮猪肉、浅烤猪肉	脂肪氧化、美拉德反应
含氧杂环化合物(呋喃和呋喃类)	水溶、挥发性	煮猪肉、煮牛肉、炸鸡、烤鸡、烤牛肉	维生素 B ₁ 和维生素 C 与碳水化合物的热降解、美拉德反应
含氮杂环化合物(吡嗪、吡啶、吡咯)	水溶、挥发性	浅烤猪肉、炸鸡、高压煮牛肉、加压煮猪肝	美拉德反应、游离氨基酸和核苷酸加热形成
含氧、氮杂环化合物(噻唑、咪唑)	水溶、挥发性	浅烤猪肉、煮猪肉、炸鸡、烤火鸡、腌火腿	氨基酸和 H ₂ S 的分解
含硫化合物(硫醇、噻吩、少量 H ₂ S)	水溶、挥发性	鸡肉基本味、鸡汤、煮牛肉、煮猪肉、烤鸡	含硫氨基酸热降解、美拉德反应
游离氨基酸、单核苷酸(肌苷酸、鸟苷酸)	水溶、挥发性	肉鲜味、风味增强剂	氨基酸衍生物
脂肪酸酯、内酯	脂溶、挥发性	种间特有香味、烤牛肉汁、水煮牛肉	甘油酯和磷脂水解、羟基脂肪酸环化

南庆贤,2003。

1.1.3.2 滋味

滋味是由溶于水的呈味物质刺激人的味蕾,通过神经传导到大脑而反映出的味感。肉中的滋味呈味物质主要来源于蛋白质和核酸的降解产物、糖、有机酸、矿物盐类离子等,包括游离氨基酸、小肽、核苷酸、单糖、乳酸、磷酸、氯离子等,其中游离氨基酸和核苷酸是肉类中最主要的滋味呈味物质。如表 1-2 所示。

表 1-2 肉的滋味呈味物质

滋味	化 合 物
甜	葡萄糖、果糖、核糖、甘氨酸、丝氨酸、苏氨酸、赖氨酸、脯氨酸、羟脯氨酸
咸	无机盐、谷氨酸钠、天冬氨酸钠
酸	天冬氨酸、谷氨酸、组氨酸、天冬酰胺、琥珀酸、乳酸、二氢吡咯羧酸、磷酸
苦	肌酸、肌苷酸、次黄嘌呤、鹅肌肽、肌肽、其他肽类、组氨酸、精氨酸、蛋氨酸、缬氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、苯丙氨酸、色氨酸、酪氨酸
鲜	谷氨酸钠(MSG)、5'-次黄嘌呤核苷酸(5'-IMP)、5'-鸟嘌呤核苷酸(5'-GMP)、其他肽类

除矿物盐类离子外,鲜肉中滋味呈味物质主要以其前体物的形式存在,因此,鲜肉除咸味外没有明显的鲜味。成熟肉风味的增加,主要是核苷类物质及氨基酸变化显著。牛肉的风味较多来自半胱氨酸成分,猪肉的风味可从核糖、胱氨酸获得。牛、猪、绵羊的瘦肉所含挥发性的香味成分,主要存在于肌肉脂肪中。因此,肉中脂肪沉积的多少,对风味具有重要的意义。

1.1.3.3 香味

香味呈味物质主要由挥发性小分子有机物组成,靠人的嗅觉细胞感受,经神经传导到大脑产生芳香感觉,如果是异味物,则会产生厌恶感和臭味的感觉。谷氨酸钠(MSG)和次黄嘌呤核苷酸(IMP)既是肉的鲜味物质,又是风味增加剂。IMP是肉成熟过程中由ATP分解产生,除MSG和IMP两者本身协同作用外,它们还和甘氨酸等氨基酸以及天冬酰胺-L-天冬氨酸等双肽有协同作用。

生肉不具备芳香性,烹调加热后一些芳香前体物质经脂肪氧化、美拉德反应以及硫胺素降解产生挥发性物质,赋予熟肉芳香性。据测定,芳香物质的90%来自于脂质反应,其次是美拉德反应,硫胺素降解产生的风味物质比例最小。虽然两者反应所产生的风味物质在数量上不到10%,但并不能低估它们对肉风味的影响,因为肉风味主要取决于最后阶段的风味物质,而且人对芳香的感觉并不取决于风味物质的数量。

与风味芳香有关的物质很多,可以列出上千种,但哪些起主导作用,目前缺乏共识。近年来的研究发现,起决定性作用的可能主要有十几种,如2-甲基-3-咪喃硫醇、糠基硫醇、3-巯基-2-戊酮和甲硫丁氨醛被认为是肉的基本风味物质。除牛肉以外,其他肉的风味形成是在此基础上增加脂肪氧化产物,因为各种动物脂肪组成不同而造成了其肉风味的差异。禽肉风味受脂肪氧化产物影响最大,其中最主要的是2(E),4(E)-癸二烯醛,还有2-十一(烷)醛和2,4-癸二烯醛等以及其他不饱和醛类。牛肉的呈味物质主要来自于硫胺素降解,代表了肉的基本风味。羊肉膻味来自于4-乙基辛酸和4-甲基辛酸等支链脂肪酸和其他短链脂肪酸。公猪膻味则来自于 Δ^{17} -十九碳类固醇。

肉的风味形成过程复杂,因此影响肉风味的因素也非常多,从肉的生产到肉的加工过程,凡是影响肉的组成及其反应进行的因素都可能影响肉的风味,到目前为止,相关研究并不深入。对肉的风味能产生影响的一些因素及其作用如表1-3所示。

表 1-3 影响肉风味的因素

因素	影响
物种	物种间风味差异很大,主要由脂肪酸组成上差异造成;物种间除风味外还有特征性异味,如羊膻味
年龄	年龄增加,肉的风味增强
脂肪	风味的主要来源之一
性别	公羊膻腥味较重,未去势公猪,因性激素原因,有强烈异味,牛肉风味受性别影响较小
氧化	低温条件下氧化产生酸败味,高温条件下产生香味
饲料	饲料中含有的特殊风味均可带入肉中
部位	不同部位肌肉的生化特性存在明显差异,导致其风味也不同
极限 pH	极限 pH 越高,感官品尝时风味越差
宰后成熟	成熟过程中,风味增强或改变
腌制	增加游离氨基酸的含量,促进风味的形成
细菌繁殖	产生腐败味

1.1.4 脂肪的分布

脂肪在体内的蓄积,依动物种类、品种、年龄、肥育程度不同而异。年轻家畜的脂肪主要沉积在内脏与肾脏周围,随着家畜的生长,脂肪开始向大块肌肉间、皮下沉积,甚至在肌纤维间沉积形成大理石样花纹。猪多蓄积在皮下、肾周围及大网膜,羊多蓄积在尾部、肋间,牛主要蓄积在胴体表面和肌肉内,鸡蓄积在皮下、腹腔及肠胃周围。

一般情况下,动物生长过程中脂肪在体内的沉积顺序为:内脏脂肪→皮下脂肪→肌间脂肪。肌内脂肪沉积的顺序为:颈部→尾部。当体内能量不足时,肌内脂肪最先被动用。因此,要获得尽可能多的大理石花纹,必须保持足够高的营养水平。饲喂高能量日粮、延长育肥时间都有助于提高大理石花纹等级,而使用生长促进剂则不利于大理石花纹沉积。宰前应激或禁食都会消耗肌内脂肪,导致大理石花纹得分降低。

在牛出生至出栏各饲养阶段持续供给充足营养对大理石花纹形成至关重要。CRC(Cyclic Redundancy Check)研究表明,肌内脂肪的沉积能力受到早期生长状况的影响,如果早期生长受到限制,对肌内脂肪沉积有负面影响。因此建议,从牛出生至断奶阶段,生长速度要保持在 0.9 kg/d 以上,断奶至育肥阶段保持在 0.6 kg/d 以上。大理石花纹也与遗传相关,日本牛比欧洲牛脂肪沉积能力强,英国牛品种介于两者之间,但品种内个体间的差异很大。大量研究表明,通过遗传改良可提高大理石花纹。

伴随着动物成熟和脂肪沉积,大理石花纹逐渐增加。一般来说,大理石花纹越丰富,背膘越厚。背膘厚度对肉的使用品质没有直接的作用,但背膘较厚时可以减小冷却过程中胴体背部肌肉内外温差,从而使同一块肌肉内外颜色和食用品质保持一致。一般规定背膘厚度不低于 3 mm。当背膘厚度由 3 mm 增加到 18 mm 时,肉的使用品质变化很小。

脂肪蓄积在肌束内最为理想,这样的肉成大理石样,肉质较好。脂肪在肌肉中的含量多少对肉的多汁性和嫩度等食用品质影响很大,而脂肪酸的组成则在一定程度上决定了肉的风味