

# 牛肉质性状及其影响因素

王 鑫 李光鹏\*

(内蒙古大学省部共建草原家畜生殖调控与繁育国家重点实验室, 呼和浩特 010070)

**摘 要:** 肉质性状指标包括 pH、色泽、嫩度、系水力、肌内脂肪含量和脂肪酸组成等, 这些性状受到包括牛的品种、年龄、性别和基因型等遗传因素以及饲养管理和屠宰工艺等环境因素的共同影响。同一品种牛, 屠宰月龄较小的母牛或阉牛, 其肉质品质较好; 不同品种或群体的牛, 会因钙蛋白酶抑制素、钙蛋白酶、二酰甘油酰基转移酶 1、脂肪酸结合蛋白 4 及硬脂酰辅酶 A 去饱和酶等基因的多态性而产生肉质性状差异。屠宰前的应激反应和屠宰后的排酸方式因影响肉的极限 pH 而改变肉质。肌肉生长抑制素基因突变促进产肉性能的同时, 可能对肉质有一定影响。本文就影响牛肉品质的若干因素研究进展作一综述。

**关键词:** 牛肉; 色泽; 嫩度; 肌内脂肪; 脂肪酸合成; 肌肉生长抑制素

中图分类号: S823

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2019)11-4949-10

牛肉具有高蛋白质、低脂肪与低胆固醇以及含有人体所需营养物质等特点, 已成为健康且具有较高经济价值的保健型肉食品<sup>[1]</sup>。牛肉品质通常指牛屠宰后, 对鲜肉加工处理后的相关营养、风味和食用价值的理化性状, 包括感官特性、安全特性和健康特性, 以及“绿色”、“清洁”等“无形”的特征<sup>[2]</sup>。对消费者来说, 对牛肉品质的需求包括肉的外观、风味、安全和营养等方面, 这些属于牛肉内在的特性。在选购牛肉时, 往往依据价格、品牌、标签、产地和分割类型等外在特性为评定指标<sup>[1, 3]</sup>。对研究者和牛肉产品的生产者而言, 评定牛肉品质则需要通过仪器设备对牛肉的各项参数进行测定, 主要包括色泽、大理石花纹、嫩度、pH、系水力(water holding capacity, WHC)、营养成分和脂肪酸组成等, 对加工肉还包括各种添加剂的含量等指标<sup>[4]</sup>。

影响牛肉品质的因素包括遗传和环境因素<sup>[5]</sup>。牛的品种、年龄、性别和基因型及饲养管理、屠宰工艺和包装运输等直接或间接影响牛肉品质。因此, 采用科学检测方法对牛肉进行数据

化分析, 对评价牛肉品质至关重要。目前普遍用于衡量牛肉品质的指标为嫩度、色泽、pH、WHC、肌内脂肪(intramuscular fat, IMF)含量和脂肪酸组成。本文对以上参数与牛肉品质的关系以及相关影响因素进行综述。

## 1 牛肉色泽

色泽是衡量肉品质和健康性的最重要因素, 是人们在购买牛肉时的最直观印象。普遍认为, 牛肉的最健康色泽为鲜樱桃红色, 颜色过于红易被怀疑为掺假牛肉, 颜色发白的牛肉不新鲜, 而深色、绿色或棕色的肉则表明有腐烂的迹象<sup>[1, 3]</sup>。牛肉色泽由肉品表面的光泽和颜色共同反映, 颜色的形成主要与肌肉中肌红蛋白和血红蛋白的化学状态及含量相关, 亮度则与肌肉的结构相关。屠宰时, 由于充分放血, 损失了大量的血红蛋白, 因此分割牛肉的色素物质主要由肌红蛋白起作用。牛肉中肌红蛋白有 3 种存在形式: 还原型肌红蛋白(deoxymyoglobin, Deo Mb)、氧合型肌红蛋白(oxymyoglobin, Oxy Mb)和高铁型肌红蛋白(met-

收稿日期: 2019-04-08

基金项目: 国家科技重大专项课题资助项目“高产优质转基因肉牛新品种培育(2016ZX08007-002)”

作者简介: 王 鑫(1993—), 女, 内蒙古巴彦淖尔人, 硕士研究生, 从事动物生殖生物学研究。E-mail: 1334848106@qq.com

\* 通信作者: 李光鹏, 教授, 博士生导师, E-mail: gpengli@imu.edu.cn

myoglobin, Met Mb) 这 3 种肌红蛋白相互转化可导致牛肉色泽发生变化<sup>[6]</sup>。屠宰后所得鲜肉色泽最初为紫红色,暴露于空气受氧化后为鲜樱桃红色,持续的氧化作用则会使  $Fe^{2+}$  被氧化为  $Fe^{3+}$ , 肉色呈暗褐色<sup>[7]</sup>。牛肉的颜色由光的反射、吸收和散射共同作用所产生,但反射光是影响感知的最重要部分。肌肉的结构也是形成牛肉色泽的主要原因之一。有研究表明,用反射共聚焦激光扫描显微镜纵向观察由肌肉纤维束产生的光散射斑点图案,发现表面斑点越多、越大的肌肉,其肌纤维束的结构越松散,而这些肉往往表现出较浅的颜色<sup>[8]</sup>。牛肉的肌节长度越短,肌节间隙、肌纤维横截面和肌纤维间距越大,从而导致光散射越弱,因此表现出的颜色更黑。

牛的品种、性别与年龄、结缔组织含量、肌纤维的代谢类型、IMF 含量与 pH 等都影响牛肉的色泽。饲养方式、运输过程、屠宰工艺、分割方法、添加剂、温度、光源、贮藏时间以及包装方式等也是影响色泽的主要因素。牛肉的色泽随年龄增加而变深,与 18 月龄屠宰相比,29 月龄屠宰的公牛肉色的红度、黄度和彩度值显著增加,色调值显著降低,其原因可能是肌肉内肌红蛋白的含量随动物年龄增加所致<sup>[9]</sup>。母牛和阉牛的肉色参数中,亮度、红度、黄度值低于公牛,且色调值较高,表现为更加明亮和鲜艳的颜色,可能是由于 IMF 含量高且肌红蛋白含量增加的缘故<sup>[9]</sup>。牛肉的酸度对肉的色泽有十分重要的作用,无论是屠宰后 pH 的下降速率还是排酸后的 pH 终点,都显著影响肉的颜色。通常情况下,肉色随 pH 的升高而变暗(亮度值降低),这是由于屠宰后肌肉的 pH 下降伴随着肌原纤维结构、肌丝排列和肌节收缩程度的变化,改变了光的穿透或散射程度,从而影响牛肉的色泽<sup>[8]</sup>。不同饲喂方法以及加工处理方式可以改善牛肉的色泽性状,如饲喂精饲料,特别是从断奶后就开始饲喂高营养精饲料,能够使成年牛屠宰后肉的红度和黄度值增加,牛肉的颜色更加鲜红<sup>[10]</sup>。而为了避免由高铁血红素引起的肉色发棕,可通过添加天然抗氧化剂,或者经高压处理以增加血红素衍生物的方式使肉呈现出鲜红色<sup>[11]</sup>。

牛肉质的色泽也直接或间接的受一些基因序列变异的影响。如瘦素(leptin, *LEP*) 基因 UASMS2 C > T、硬脂酰辅酶 A 去饱和酶 1(stearoyl-CoA desaturase 1, *SCD1*) 基因 SCD1.878

G > A 和钙蛋白酶 1( $\mu$ -calpain, *CAPN1*) 基因 *CAPN1*: c.947 G > C 的 SNP 位点突变与牛肉色泽参数具有相关性。其中 *LEP* 具有 C 等位基因的基因型(CC 和 CT) 动物比 TT 基因型的动物,肌肉具有更高的彩度、红度值和氧合肌红蛋白含量,以及较低的肌红蛋白含量;*SCD1* 具有 GA 和 AA 基因型的动物肌肉有较高的红度、黄度、彩度值和氧合肌红蛋白含量;*CAPN1* 基因多态性与色调值相关,杂合动物与纯合 GG 基因型动物相比,色调值更高<sup>[12]</sup>。也有研究表明,钙蛋白酶抑制蛋白(calpastatin, *CAST*)<sup>[13]</sup>、蛋白激酶 AMP 激活的非催化亚单位  $\gamma 3$ (protein kinase AMP-activated non-catalytic subunit gamma 3, *PRKA* $\gamma 3$ )、生长激素受体(growth hormone receptor, *GHR*)<sup>[14]</sup> 和谷胱甘肽硫转移酶 P1(glutathione-S-transferase Pi 1, *GSTP1*) 基因与肉色泽显著相关。

## 2 牛肉 pH

pH 是衡量牛肉品质的一个关键参数,反映牛肉中的酸度,后者主要是糖酵解过程生成的乳酸累积所致。活牛肌肉的 pH 通常为中性,当宰杀放血后,肌肉组织受氧气和营养物质中断的影响,从有氧转变为厌氧活动,进行无氧酵解,产生大量的乳酸,从而使 pH 下降<sup>[15]</sup>。肉类 pH 的下降能够减少微生物的侵染,有利于肉产品的保存。通常当 pH 降到 5.4 左右时而终止继续下降,主要是因为在这种酸性条件下,肌糖原无氧酵解过程中的酶会发生失活,此时的 pH 是宰后肌肉的最低 pH,称为极限 pH(pHu)。肉的 pHu 与屠宰时肌肉中的糖原水平有关,在一定范围内, pHu 随宰后肌糖原含量的升高而降低<sup>[10]</sup>。通常认为,牛肉 pHu 的合理范围是 5.4~5.6,这个值也是影响肉色泽的关键因素之一<sup>[16]</sup>。

牛肉的 pH 受许多因素的影响,有年龄、性别、宰前应激反应、运输及天气、动物的兴奋性或攻击性、饲喂条件和肉类的解冻过程等。屠宰前的一些饲养方式(如禁食、运输)和应激能够使动物过度消耗肌肉内的糖原,导致屠宰后的糖酵解不足以降低 pH 至合适的范围,产生黑切肉<sup>[15,17]</sup>。黑切肉分为典型和非典型,典型黑切肉的背最长肌 pH  $\geq 6.0$ ,非典型黑切肉的背最长肌 pH < 6.0。典型黑切肉的氧合肌红蛋白含量少,脱氧和肌红蛋白比例高,且亮度、红度和黄度值低,而非典型黑

切肉的韧度增大与葡萄糖代谢活性的下降相关<sup>[18]</sup>。公牛和阉牛受应激反应更强烈,黑切肉发生率及指数一般高于母牛<sup>[19-20]</sup>。饲喂条件对牛肉的 pH 和发生黑切肉的风险率也有影响,在屠宰前最后 7 d 饲喂干草或青贮饲料,会使发生黑切肉的风险率降低 25%,或者饲喂的牧草中  $Mg^{2+}$  含量超过 0.24%,则会使风险率降低 26%<sup>[19]</sup>。另外, *CAST* 基因的多态性被认为与肉质 pH 相关,相比具有 CC 和 CG 基因型的动物,GG 基因型的动物肉质具有更高的 pHu,因此有可能产生黑、硬、干的牛肉<sup>[14]</sup>。

pH 的差异也直接影响肉类品质的其他特性,如牛肉嫩度、WHC、色泽、风味、多汁性和保质期等,其中对色泽的影响更直接<sup>[10]</sup>。屠宰后的牛肉,肌肉内糖酵解速率过慢会导致 pH 过高,使肌肉颜色变暗,肉质表面干硬,形成 DFD (dark, firm, dry) 肉。相反,如果在宰前短期内受应激反应强烈,会大量消耗糖原,使宰后 pH 快速下降,影响肌肉中钙蛋白酶的活性,降低肉质的 WHC,从而使肌肉变软且有血水渗出<sup>[17]</sup>,这个时候胴体还保持较高的温度,导致肌肉色泽发白,形成 PSE (pale, soft, exudative) 肉。DFD 和 PSE 肉在肉制品中为不正常的肉,不被消费者所接受。

### 3 牛肉嫩度

嫩度是消费者最关注的感官特性,反映牛肉的韧性。肌肉的结构是嫩度的决定因素,包括结缔组织分布、肌节长度以及屠宰后肌纤维的蛋白水解和氧化等<sup>[21-22]</sup>。肌节是肌原纤维的基本单位,由 3 种不同的肌丝系统组成,在肌肉生长期间,肌丝会发生重叠,而肌节长度的差异会影响肌丝重叠,进一步改变肌原纤维的结构,从而影响肉的韧性<sup>[5]</sup>。蛋白质水解对肉类嫩度的影响主要受屠宰时肌肉中蛋白酶水平、严格排酸持续时间和排酸期间蛋白酶活性的调节,其中  $\mu$ -钙蛋白酶是蛋白质水解中最重要的酶<sup>[23]</sup>。另外,肌原纤维中一些主要的蛋白质发生氧化,也会降低牛肉嫩度。例如肌球蛋白重链的氧化及与肌联蛋白的交联可以降低蛋白质溶解度,而伴肌动蛋白、肌联蛋白和肌钙蛋白-T 等蛋白结构的破坏,可能会导致肌原纤维断裂,肌肉细胞的完整性丧失,从而影响肌肉的韧性<sup>[22]</sup>。

嫩度受性别、品种、基因型、年龄以及饲养管

理和屠宰后的处理方法等影响。公牛肉比母牛肉剪切力更大<sup>[20]</sup>,放牧牛比舍饲牛肉嫩度差<sup>[24]</sup>。断奶后动物的生长速率可能会通过动物体内肌肉蛋白质的转化,影响屠宰后肌肉蛋白质的水解,最终影响肉质嫩度<sup>[25]</sup>。屠宰后,在冷藏条件下排酸<sup>[26]</sup>和在 100~200 MPa 高压下处理牛肉<sup>[7]</sup>,会改善肉质嫩度。牛肉的韧性也受肌肉收缩程度的影响,主要与冷收缩相关,并随肌肉收缩程度的增加而增加。当肌肉从 20% 收缩为 40% 时,剪切力可增加至 4~5 倍。当收缩程度为 35%~40% 时,肌肉韧性达到最大,肌节长度从 1.3  $\mu\text{m}$  增加为 1.4  $\mu\text{m}$ 。而当肌节长度收缩至 60% 时,韧性则会下降至初始值。只有当肌肉收缩程度大于 40% 并小于 60% 时,才会增加肉质嫩度<sup>[26]</sup>。假如屠宰后的处理方式不合理,如降温过快会引起热胀冷缩,则会降低牛肉嫩度,一般这个时候,可利用电刺激方法加速糖酵解速率来提高嫩度<sup>[5]</sup>。

一些与嫩度有关的基因如 *CAST*、*CAPN1*、钙蛋白酶 3 ( $\mu$ -calpain, *CAPN3*) 和生长抑制素 (myostatin, *MSTN*) 对牛肉嫩度的影响也有差异,其中 *CAST*、*CAPN1* 和 *CAPN3* 基因参与钙蛋白酶蛋白水解系统,可作为影响嫩度的候选基因。钙蛋白酶活性与肉嫩度具有正相关性,*CAPN1* 基因的 3 个基因位点突变 (g.4558G>A、g.4685C>T 和 g.6545C>T) 会使肌肉嫩度下降<sup>[27]</sup>,而 *CAPN3* 基因的 *CAPN3*: c.1538+225G>T 位点可提高肌肉嫩度<sup>[28]</sup>。*CAST* 是钙蛋白酶的抑制因子,其活性的增加会阻碍牛肉的正常嫩化过程,从而降低肉质嫩度<sup>[14]</sup>。*CAST* 基因的 E1-1 (g74644 G/A、g74675 G/A、g74690 G/A、g74769-70 AT/TC、g74795 A/G 和 g74821 G/A)、E1-2 (g75244 T/G) 和 C3-1 (g129662 T/C、g129669 C/A、g129691 T/C 和 g129915 G/A) 位点与牛肉嫩度具有显著相关性,如在 C3-1 位点的 AA 基因型动物肌肉的嫩度显著高于 BB 和 AB 基因型的动物。相反,在 E1-1 和 E1-2 位点的 BB 基因型动物肌肉的嫩度显著高于 AA 和 AB 基因型的动物<sup>[13]</sup>。肌肉 *MSTN* 基因突变会增加肌肉的韧性,Wheeler 等<sup>[29]</sup>对不同 *MSTN* 基因型 (+/+、*mh*/+ 和 *mh*/*mh*) 动物的 4 种肌肉组织进行了嫩度的检测,发现在所有肌肉组织中 *mh*/+ 和 *mh*/*mh* 基因型的嫩度高于 +/+ 基因型,并且在肱二头肌中, *mh*/*mh* 基因型的嫩度高于 *mh*/+ 基因型。

IMF 含量和屠宰后的能量代谢也是影响肉嫩度的间接因素<sup>[5]</sup>。通常认为,IMF 的沉积会将膜外胶原纤维分隔开,打乱肌内结缔组织的结构从而影响牛肉的嫩度,这一间接的影响作用往往发生在 IMF 含量 >8% 时,而当 IMF 含量 <8% 时,其作用主要是提高牛肉多汁性和风味。然而,也有学者认为只有 IMF 含量从 0 增加至 3%~4% 时,嫩度才会随 IMF 含量的增加而增加,若大于这个值,IMF 含量的增加对嫩度的改变不大<sup>[30]</sup>。能量代谢(糖代谢)会影响屠宰后肉的 pHu,而 pH 的改变会影响 WHC 和肌节长度,从而间接影响嫩度。

#### 4 牛肉 WHC

WHC 是反映牛肉受外力作用时保持其原有水分的能力。瘦肉中水分含量约占 75%,大多数存在于肌细胞纤维之间,少量吸附在蛋白质中。动物在屠宰后,由于细胞内渗透压增加引起细胞膨胀,导致水从肌原纤维基质中排出,造成水分的损失,从而也降低肉的产量<sup>[31]</sup>。WHC 差的牛肉,会因为屠宰后失水减重和失色而造成肉品质下降,并降低牛肉的可接受度<sup>[4]</sup>。WHC 是采用一些特定方法处理后,测定肉损失水分的百分比,包括滴水损失(drip loss,DL)、压挤损失(pressing loss,PL)、蒸煮损失(cooking loss,CL)等。数值越大,说明 WHC 越小。牛肉中 IMF 和蛋白质含量会影响 WHC,例如 IMF 含量较低会增加牛肉的 DL<sup>[32]</sup>,而蛋白质含量越高,WHC 越大。

WHC 受很多因素的影响,包括品种、基因型、饲料、动物的应激反应,屠宰前(禁食和不同的击晕方式)和屠宰后(冷却、排酸、注入非肉类成分和对胴体的翻滚)的处理方法等。如比利时蓝牛的 DL 和 CL 更大,因为双肌牛肌肉中结缔组织少、糖代谢更彻底,并且纯合双肌牛的 WHC 更低,因为纯合子双肌牛肌肉糖代谢多,DL 高<sup>[31]</sup>。另外,有报道称 *CAST*<sup>[14]</sup>、*GHR*<sup>[33]</sup> 和锚蛋白 1(ankyrin 1, *ANK1*)<sup>[34]</sup> 基因与 WHC 相关。Di Stasio 等<sup>[33]</sup> 发现, *GHR* 基因第 10 外显子的 257 位点的 A/G 多态性的 A 等位基因与皮尔蒙特牛肉中较高的 DL 有关。而在猪品种中, *ANK1* 基因的 g.-606G>A 位点与 DL 呈正相关关系<sup>[34]</sup>。

饲喂时添加维生素 E 可增加 WHC,因为添加维生素 E 能够抑制磷脂酶 A2 的活性,使线粒体膜稳定性增强,阻碍  $Ca^{2+}$  从肌细胞内质网中流失,防

止肌节的收缩,最终提高牛肉的嫩度和 WHC。其他的喂养管理也可以改善肉类 WHC,例如在动物饲料里添加镁、维生素 D<sub>3</sub>、向日葵种子和共轭亚油酸(conjugated linoleic acid,CLA)以及降低碳水化合物含量等。其中,镁对钙有拮抗作用,在饲料中添加镁可减少神经肌肉刺激,从而减少应激反应并改善肉的 WHC<sup>[35]</sup>。

如前文所述,屠宰前动物的应激反应会降低肌肉糖原储备,使肌肉 pHu 偏低且含水量降低,形成 PSE 肉。并且肌肉 pH 的快速下降,会使肌原纤维收缩和蛋白质变性增加,最终降低 WHC。因此,在屠宰前可通过适当的降低应激反应和提高 pH 的方法,来改善肉类 WHC。例如,通过禁食、注射肾上腺素和使用低应激力击晕系统的方法可降低 DL<sup>[31]</sup>。另外,烹饪和冷却程序也会影响牛肉的 WHC,较低的烹饪温度和加热速率可以降低 CL,而随着烹饪温度的升高,会使蛋白质变性和肌纤维体积减少,进而使水从肌原纤维结构中消失,增加 CL<sup>[8]</sup>。

#### 5 牛肉 IMF 和脂肪酸

除了高质量的蛋白质、矿物质和维生素之外,IMF 含量和脂肪酸组成是决定牛肉营养价值的重要因素。IMF 又称大理石花纹脂肪,主要由中性脂质组成,位于肌纤维束和肌束膜结缔组织之间。尽管 IMF 含量会随年龄而增加,但由于脂肪前体细胞一般在出生前或生长发育早期就被确定,因此在牛育肥期间,脂肪的沉积则是通过脂肪细胞体积的增大和质量的增加来完成的,这一过程是高度遗传的,并与动物身体的胖瘦程度呈正相关关系<sup>[36]</sup>。

动物 IMF 含量受品种、屠宰重、营养、生长速度和环境等多种因素的影响,同时也影响着其他肉质性状,如大理石花纹、风味、嫩度和营养成分等。一般情况下,IMF 含量与肉的多汁性和风味呈正相关,也会间接影响肉质嫩度<sup>[37]</sup>;此外,IMF 含量与肉的吞咽咀嚼次数、酸涩度和结缔组织量呈负相关<sup>[36]</sup>。

肌肉组织中 IMF 含量的变化会导致 IMF 分布的差异,脂肪酸含量随 IMF 含量的增加而增加。饱和脂肪酸(saturated fatty acid,SFA)、单不饱和脂肪酸(monounsaturated fatty acid,MUFA)和多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acid,PUFA)的组

成和含量与人类身体健康息息相关。高摄食 SFA 会造成血脂和胆固醇含量的上升,引起心血管动脉粥样硬化<sup>[38]</sup>。而 PUFA 和 MUFA 通常被认为是有益于人类健康的,PUFA 可以降低甘油三酯、胆固醇和低密度脂蛋白含量,MUFA 对于预防和延缓动脉粥样硬化的能力强于 PUFA<sup>[39]</sup>。牛肉对人体的健康程度和营养通常采用 PUFA/SFA、营养价值(nutritional value,NV)和低胆固醇脂肪酸/高胆固醇脂肪酸(h/H)指标进行评价。PUFA/SFA 和 h/H 是评定肉中脂肪酸对人体健康的一个指标,饮食中健康的 PUFA/SFA 为 0.5~0.7(地中海饮食)或 0.45(英国卫生部)<sup>[40]</sup>,h/H 建议值为  $\geq 2.5$ <sup>[41]</sup>;NV 则代表脂肪酸整体的重要组成部分<sup>[42]</sup>。在 PUFA 中,二十碳五烯酸(C20:5n-3,EPA)和二十二碳六烯酸(C22:6n-3,DHA)已被证明在降低心血管疾病风险方面具有重要作用,并且对胎儿脑和视觉的正常发育至关重要<sup>[43-44]</sup>。世界卫生组织(WHO,2003)建议 SFA、n-6 PUFA、n-3 PUFA 和总脂肪酸(TFA)的摄入量应该分别低于 10%、5%~8%、1%~2%和 1%<sup>[45]</sup>。

脂肪酸组成受动物基因型、品种、饲养和年龄的影响。Frank 等<sup>[46]</sup>对安格斯牛和和牛的肉品质检测中发现,和牛肉比安格斯牛肉的嫩度、风味和多汁性好,IMF 含量更高,且油酸、异油酸、瘤胃酸、二十二碳五烯酸、亚麻油酸、 $\alpha$ -亚麻油酸和棕榈油酸等对人类健康有益的脂肪酸含量,随大理石花纹的增加而增加,而 EPA 和 DHA 含量会略有下降。Lorenzo 等<sup>[45]</sup>研究发现,PUFA 含量分别与 C18:2n-6 和 C18:3n-3 含量呈正相关和负相关;MUFA 含量与 C18:1n-9 含量呈正相关,并发现脂肪酸含量(除了亚油酸)在后腿和臀部肌肉中较高。饲喂甘蔗渣会降低肉中十七烷酸含量<sup>[47]</sup>,在饲料中添加甘油,可增加肉中 MUFA、PUFA 和十七烯酸含量,降低 SFA、十七烷酸和硬脂酸含量<sup>[48]</sup>。月龄较小的野生动物肌肉通常含有较高含量的 PUFA,因此含有较高的 PUFA/SFA<sup>[49]</sup>,而屠宰月龄较大的动物肌肉通常含有较高含量的 IMF 和 SFA<sup>[50]</sup>。相比公牛,母牛肉的 IMF 和 SFA 含量高,PUFA 含量低<sup>[51]</sup>。

不同基因及其基因型对牛肉 IMF 含量和脂肪酸组成影响不同。乙酰辅酶 A 羧化酶 B(acetyl-CoA carboxylase beta,ACACB)、ADIPOQ、CAPN1、CCAAT/增强子结合蛋白  $\alpha$ (CCAAT/enhancer

binding protein alpha gene,CEBPA)、二酰甘油酰基转移酶 1(diacylglycerol acyltransferase 1,DGAT1)、LEP、脂肪酸结合蛋白 4(fatty acid binding protein 4,FABP4)、脂肪酸合成酶(fatty acid synthase,FASN)、GHR、SCD、过氧化物酶体增殖物激活受体  $\gamma$ (peroxisome proliferator-activated receptor gamma,PPAR $\gamma$ )和类视黄醇 X 受体  $\alpha$ (retinoid X receptor alpha,RXRA)等基因均与 IMF 含量相关。ACACB 基因参与调节脂肪酸氧化和生物合成,基因敲除小鼠有较高的脂肪酸氧化速率和较低的脂肪含量,认为该基因通过丙二酰辅酶 A 抑制肉毒碱-棕榈酰辅酶 A 转移酶 I 来控制脂肪酸氧化<sup>[52]</sup>。

CAPN1:c.947 G>C 的突变,与牛肉 IMF 含量也存在相关性,相比具有 CG 和 GG 基因型的动物肌肉,CC 基因型的 IMF 含量更高<sup>[12]</sup>。而作为催化甘油三酯合成的关键酶,DGAT1 基因中具有纯合 DGAT1 基因型(GCGC)的动物,其 IMF 含量低于杂合基因型(AAGC)<sup>[53]</sup>。

FABP4 是肉牛 IMF 含量、脂肪酸组成和胴体重的功能和位置候选基因,主要在脂肪细胞和巨噬细胞中表达,可与长链脂肪酸和其他疏水配体结合,在脂肪酸运输和脂质水解中起关键作用。FABP4 可通过与激素敏感性脂肪酶(HSL)相互作用参与脂质水解<sup>[54]</sup>,也可能参与肉豆蔻酸含量和 n-6/n-3 的调节<sup>[55]</sup>。Oh 等<sup>[56]</sup>研究发现,分别在 FABP4 的 4 个 SNP 位点的 G、G、C 和 G 等位基因的纯合基因型,可增加油酸和 MUFA 的含量。也有研究表明,在 FABP4 基因的 g.3691G>A SNP 位点处,具有 GG 基因型的豆蔻酸(C14:0)和棕榈酸(C16:0)含量高,具有 AA 基因型的花生四烯酸含量高<sup>[57]</sup>。

FASN 是脂肪酸合成中必不可少的代谢和多功能酶,主要功能是在还原型烟酰胺腺嘌呤二核苷酸磷酸(NADPH)的存在下,催化乙酰辅酶 A 和丙二酰辅酶 A 合成棕榈酸酯,并合成长达 16 个碳的饱和脂肪酸,与 IMF 含量及 C14:0、C16:0、C16:1、C18:1-e9 等脂肪酸的合成相关<sup>[58]</sup>。Hayakawa 等<sup>[59]</sup>研究发现,FASN 基因的 g.841G>C 位点与 C14:0、C14:1、C16:1 和 C18:1 脂肪酸的含量显著相关,并且相比 g.841G>C GC 基因型的动物脂肪酸,GG 基因型具有较低含量的 C14:0、C14:1、C16:0、C16:1、SFA 和较高含量的 C18:1

及 MUFA, 并且 g.841G>C 位点对脂肪酸含量的影响大于 g.16024A>G 位点。

PPAR $\gamma$ 、CEBPA 和 RXRA 是核转录因子, 在脂肪生成和脂肪沉积的调节中起重要作用<sup>[60]</sup>。PPAR $\gamma$  基因的 rs207671117 SNP 位点对 n-6/n-3 有显著的影响, RXRA 基因的 rs133517803 SNP 位点对油酸和 MUFA 含量有显著的影响<sup>[61]</sup>。

脂肪酸的不饱和水平由硬脂酰辅酶 A 去饱和酶( stearoyl-CoA desaturase, SCD) 决定, 负责催化饱和脂肪酸去饱和成单不饱和脂肪酸, 还可以催化底物如异油酸向其相应的 CLA 异构体的转化, 分为 SCD1 和 SCD5 2 种同种型, 与牛肉 IMF 沉积和脂肪酸组成相关<sup>[62]</sup>。与 SCD 的 AG 基因型相比, AA 基因型的 IMF 含量更高<sup>[14]</sup>。

## 6 MSTN 基因突变对牛肉质的影响

作为肌肉发育的负调控因子, MSTN 功能缺失会使肌肉过度发育, 体现出肌肉显著发达的双肌现象, 其主要是胸、臀部和大腿部位肌肉异常发达<sup>[63]</sup>。具有双肌性状的比利时蓝牛, 其生产性能远远高于普通肉牛, 胴体重通常可以达到 600 kg 以上, 屠宰率可达 70% 以上, 瘦肉率和高档牛肉的产出也显著增加<sup>[63]</sup>。安格斯牛和南德温牛群体中的 MSTN 基因个体的胴体重和屠宰率均高于 MSTN 基因非突变的个体<sup>[64-65]</sup>。

MSTN 基因突变不仅会增加肉牛的胴体重, 提高肉牛屠宰性能和生产效率, 同时对肉质性状也具有一定的影响。双肌牛肌肉中的肌红蛋白含量少, 会引起肌肉颜色发白, 通常集中在牛的臀部和后腿部。Raes 等<sup>[66]</sup>发现, 比利时蓝牛的亮度值较高, 红度值较低, 牛肉色发白。由于双肌牛应激反应强烈, 且肌细胞糖原含量低, 屠宰后更容易出现排酸不彻底而产生的 pHu 偏高, 因此也更容易形成 DFD 肉<sup>[67]</sup>。造成这一结果也与双肌牛的胴体重过高有关。由于肌肉块过大, 在冷却排酸时肌肉深层仍处于较高的温度(5 h 仍高于 35 °C), 但 pH 已下降至 5.5, 从而导致肉色的稳定性降低, 出现内层和外层肌肉色泽不一致现象。因此, 在屠宰工艺上, 双肌牛不适合传统冷却方法, 更适合热剔骨( hot boning), 即先分割后排酸<sup>[63]</sup>。

MSTN 基因突变对嫩度的影响在不同的研究结果中存在差异。有研究结果表明, 双肌牛肉嫩度比非双肌牛肉高, 认为是由于糖酵解的快速消

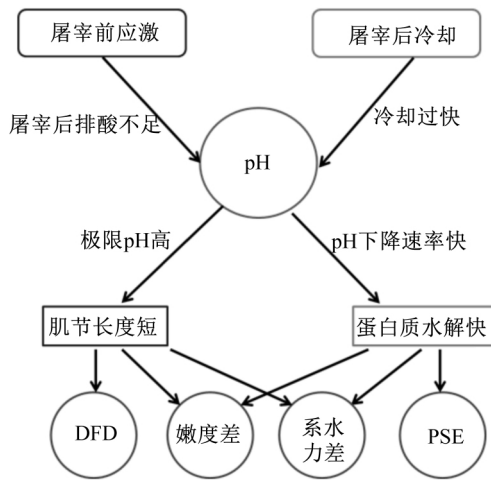
耗使肌肉中胶原含量降低所致<sup>[29]</sup>。屠宰前肉牛的生长速率也与嫩度相关, 肌肉的快速增长可导致蛋白质合成和降解都加快, 并促进屠宰后蛋白质水解, 提高最终的肉质嫩度<sup>[68]</sup>。然而, 也有研究表明, 双肌动物在屠宰 1~24 h 后, 其钙蛋白酶 1 和钙蛋白酶抑制剂表达水平显著降低, 蛋白质水解活性降低导致剪切力高, 嫩度和 WHC 较差<sup>[67]</sup>。双肌牛的活体重越大, 肉的嫩度越差, 活体重为 300~350 kg 的双肌牛, 其剪切力低于活体重为 530~560 kg 的个体<sup>[69]</sup>。也有研究表明, 双肌与非双肌牛在肉质嫩度方面不存在显著性差异<sup>[65]</sup>。

在双肌牛的肌肉中, IMF 含量显著减少, 有的甚至不足 1%<sup>[70]</sup>。在肌肉组织中, 双肌与非双肌牛脂肪酸组成也存在差异, 双肌牛 SFA 含量减少、PUFA 含量增加, 导致 PUFA/SFA 提高<sup>[70]</sup>。Bri-giapaglia 等<sup>[71]</sup>比较了皮尔蒙特、利木赞和荷斯坦牛肉质的脂肪酸组成, 发现皮尔蒙特牛肌肉中 SFA 含量最低, PUFA 含量最高, 但单位重量肌肉组织中 PUFA 的绝对含量在 3 个品种中没有显著差异。MSTN 基因也会影响 n-6 和 n-3 脂肪酸的代谢, 双肌牛 n-3 多不饱和脂肪酸绝对量减少, 但 n-6/n-3 提高<sup>[66]</sup>。

在实际肉牛生产工作中, 通常选用优质纯种双肌公牛与其他品种牛进行杂交, 以改善肉牛生产性能。Domingo 等<sup>[40]</sup>发现, 比利时蓝牛与荷斯坦牛杂交后, 有较好的屠宰参数, 包括活体重、胴体重、屠宰率, 但并不影响肉质 pH、色泽、嫩度和 WHC 等肉质性状, 虽然 PUFA/SFA 有所提高, 但脂肪酸的组成变化不大。Keady 等<sup>[72]</sup>对比利时蓝牛×荷斯坦牛杂交组和安格斯牛×荷斯坦牛杂交组相比较, 发现比利时蓝牛×荷斯坦牛杂交组有较高的活体重与胴体重, 脂肪含量较低, 色泽参数红度值低, 亮度、黄度和色调值高, 剪切力高。

## 7 小结

综上所述, 牛肉的肉质性状包括 pH、色泽、嫩度、WHC 和 IMF 含量等多个方面, 这些特性并不是完全独立的, 而是相互之间存在着必然的联系。其中, 牛肉排酸后的 pH 是一个关键因素, 会直接或间接的影响色泽、嫩度和 WHC 等其他肉质性状(图 1)。肉质性状受多种与脂肪酸合成与代谢相关基因的调控。MSTN 基因缺失突变促进肌肉发育, 对肉质性状也存在一些影响。



DFD: DFD 肉 dark ,firm ,dry meat; PSE: PSE 肉 pale , soft ,exudative meet。

图 1 肉质中 pH、色泽、嫩度和系水力之间的相互影响

Fig.1 Interaction among pH , color , tenderness and water holding capacity

#### 参考文献:

- [ 1 ] NGAPO T M ,VARELA D B ,LOZANO M S R.Mex-ican consumers at the point of meat purchase. Beef choice[J].Meat Science 2017 ,134: 34-43.
- [ 2 ] BECKER T.Consumer perception of fresh meat quality: a framework for analysis[J].British Food Journal , 2000 ,102( 3) : 158-176.
- [ 3 ] TROY D J ,KERRY J P.Consumer perception and the role of science in the meat industry [J].Meat Science , 2010 ,86( 1) : 214-226.
- [ 4 ] 万发春 ,张幸开 ,张丽萍 ,等.牛肉品质评定的主要指标[J].中国畜牧兽医 2004 ,31( 12) : 17-19.
- [ 5 ] WARNER R D ,GREENWOOD P L ,PETHICK D W ,et al.Genetic and environmental effects on meat quality [J].Meat Science 2010 ,86( 1) : 171-183.
- [ 6 ] LUÑO M ,RONCALÉS P ,DJENANE D ,et al. Beef shelf life in low O<sub>2</sub> and high CO<sub>2</sub> atmospheres containing different low CO concentrations [J]. Meat Science 2000 ,55( 4) : 413-419.
- [ 7 ] MA H J ,LEDWARD D A.High pressure processing of fresh meat-is it worth it? [J].Meat Science 2013 , 95( 4) : 897-903.
- [ 8 ] HUGHES J M ,OISETH S K ,PURSLOW P P ,et al.A structural approach to understanding the interactions between colour ,water-holding capacity and tenderness [J].Meat Science 2014 ,98( 3) : 520-532.
- [ 9 ] GAGAOUA M ,PICARD B ,MONTEILS V.Associations among animal ,carcass ,muscle characteristics , and fresh meat color traits in Charolais cattle [J].Meat Science 2018 ,140: 145-156.
- [ 10 ] MANNI K ,RINNE M ,HUUSKONEN A ,et al.Effects of contrasting concentrate feeding strategies on meat quality of growing and finishing dairy bulls offered grass silage and barley based diets [J].Meat Science , 2018 ,143: 184-189.
- [ 11 ] BAK K H ,LINDAHL G ,KARLSSON A H ,et al. Effect of high pressure ,temperature ,and storage on the color of porcine longissimus dorsi [J].Meat Science 2012 ,92( 4) : 374-381.
- [ 12 ] LI X ,EKERLJUNG M ,LUNDSTROM K ,et al.Association of polymorphisms at DGAT1 ,leptin ,SCD1 ,CAPN1 and CAST genes with color ,marbling and water holding capacity in meat from beef cattle populations in Sweden [J].Meat Science 2013 ,94( 2) : 153-158.
- [ 13 ] LI Y X ,JIN H G ,YAN C G ,et al. Association of CAST gene polymorphisms with carcass and meat quality traits in Yanbian cattle of China [J].Molecular Biology Reports 2013 ,40( 2) : 1875-1881.
- [ 14 ] REARDON W ,MULLEN A M ,SWEENEY T ,et al. Association of polymorphisms in candidate genes with colour ,water-holding capacity ,and composition traits in bovine M. longissimus and M. Semimembranosus [J].Meat Science 2010 ,86( 2) : 270-275.
- [ 15 ] MAHMOOD S ,ROY B C ,LARSEN I L ,et al.Understanding the quality of typical and atypical dark cutting beef from heifers and steers [J].Meat Science , 2017 , 133: 75-85.
- [ 16 ] WEGLARZ A.Meat quality defined based on pH and colour depending on cattle category and slaughter season.Colour and pH as determinants of meat quality dependent on cattle category and slaughter season [J].Czech Journal of Animal Science ,2010 ,55 ( 12) : 548-556.
- [ 17 ] HOLDSTOCK J ,AALHUS J L ,UTTARO B A ,et al. The impact of ultimate pH on muscle characteristics and sensory attributes of the longissimus thoracis within the dark cutting ( Canada B4) beef carcass grade [J].Meat Science 2014 ,98( 4) : 842-849.
- [ 18 ] WULF D M ,EMNETT R S ,LEHESKA J M ,et al. Relationships among glycolytic potential ,dark cutting ( dark firm and dry) beef ,and cooked beef palatability [J].Meat Science 2014 ,98( 3) : 520-532.

- ty [J]. *Journal of Animal Science* ,2002 ,80 ( 7 ) : 1895–1903.
- [19] LOUDON K M W ,LEAN I J ,PETHICK D W ,et al. On farm factors increasing dark cutting in pasture finished beef cattle [J]. *Meat Science* ,2018 ,144: 110–117.
- [20] NASSU R T ,TULLIO R R ,BERNDT A ,et al. Effect of the genetic group ,production system and sex on the meat quality and sensory traits of beef from crossbred animals [J]. *Tropical Animal Health and Production* , 2017 ,49( 6 ) : 1289–1294.
- [21] KOOHMARAIE M ,GEESINK G H. Contribution of postmortem muscle biochemistry to the delivery of consistent meat quality with particular focus on the calpain system [J]. *Meat Science* ,2006 ,74( 1 ) : 34–43.
- [22] HUFF LONERGAN E ,ZHANG W G ,LONERGAN S M. Biochemistry of postmortem muscle—lessons on mechanisms of meat tenderization [J]. *Meat Science* , 2010 ,86( 1 ) : 184–195.
- [23] POMPONIO L ,ERTBJERG P. The effect of temperature on the activity of  $\mu$ - and m-calpain and calpastatin during post-mortem storage of porcine *longissimus* muscle [J]. *Meat Science* ,2012 ,91( 1 ) : 50–55.
- [24] DEL CAMPO M ,BRITO G ,DE LIMA J M S ,et al. Effects of feeding strategies including different proportion of pasture and concentrate ,on carcass and meat quality traits in Uruguayan steers [J]. *Meat Science* , 2008 ,80( 3 ) : 753–760.
- [25] THERKILDSEN M ,HOUBAK M B ,BYRNE D V. Feeding strategy for improving tenderness has opposite effects in two different muscles [J]. *Meat Science* , 2008 ,80( 4 ) : 1037–1045.
- [26] ERTBJERG P ,PUOLANNE E. Muscle structure ,sarcomere length and influences on meat quality: a review [J]. *Meat Science* ,2017 ,132: 139–152.
- [27] CHUNG H ,SHIN S ,CHUNG E. Effects of genetic variants for the bovine calpain gene on meat tenderness [J]. *Molecular Biology Reports* ,2014 ,41( 5 ) : 2963–2970.
- [28] CAFE L M ,MCINTYRE B L ,ROBINSON D L ,et al. Production and processing studies on calpain-system gene markers for tenderness in Brahman cattle: 2. Objective meat quality [J]. *Journal of Animal Science* , 2010 ,88( 9 ) : 3059–3069.
- [29] WHEELER T L ,SHACKELFORD S D ,CASAS E ,et al. The effects of Piedmontese inheritance and myostatin genotype on the palatability of longissimus thoracis , gluteus medius , semimembranosus , and biceps femoris [J]. *Journal of Animal Science* ,2001 ,79 ( 12 ) : 3069–3074.
- [30] OUALI A ,GAGAOUA M ,BOUDIDA Y ,et al. Biomarkers of meat tenderness: present knowledge and perspectives in regards to our current understanding of the mechanisms involved [J]. *Meat Science* ,2013 ,95 ( 4 ) : 854–870.
- [31] CHENG Q F ,SUN D W. Factors affecting the water holding capacity of red meat products: a review of recent research advances [J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* ,2008 ,48( 2 ) : 137–159.
- [32] OLIVÁN M ,MARTÍNEZ A ,OSORO K ,et al. Effect of muscular hypertrophy on physico-chemical , biochemical and texture traits of meat from yearling bulls [J]. *Meat Science* ,2004 ,68( 4 ) : 567–575.
- [33] DI STASIO L ,BRUGIAPAGLIA A ,DESTEFANIS G ,et al. *GH1* as candidate gene for variability of meat production traits in Piemontese cattle [J]. *Journal of Animal Breeding and Genetics* ,2003 ,120( 5 ) : 358–361.
- [34] ASLAN O ,HAMILL R M ,MULLEN A M ,et al. Association between promoter polymorphisms in a key cytoskeletal gene ( Ankyrin 1 ) and intramuscular fat and water-holding capacity in porcine muscle [J]. *Molecular Biology Reports* ,2012 ,39( 4 ) : 3903–3914.
- [35] ROSENVOLD K ,ANDERSEN H J. Factors of significance for pork quality—a review [J]. *Meat Science* , 2003 ,64( 3 ) : 219–237.
- [36] JOO S T ,KIM G D ,HWANG Y H ,et al. Control of fresh meat quality through manipulation of muscle fiber characteristics [J]. *Meat Science* ,2013 ,95( 4 ) : 828–836.
- [37] WOOD J D ,ENSER M ,FISHER A V ,et al. Fat deposition ,fatty acid composition and meat quality: a review [J]. *Meat Science* ,2008 ,78( 4 ) : 343–358.
- [38] MOZAFFARIAN D ,ASCHERIO A ,HU F B ,et al. Interplay between different polyunsaturated fatty acids and risk of coronary heart disease in men [J]. *Circulation* ,2005 ,111( 2 ) : 157–164.
- [39] SCOLLAN N D ,PRICE E M ,MORGAN S A ,et al. Can we improve the nutritional quality of meat? [J]. *Proceedings of the Nutrition Society* ,2017 ,76( 4 ) : 603–618.
- [40] DOMINGO G ,IGLESIAS A ,MONSERRAT L ,et al. Effect of crossbreeding with Limousine ,rubia gallega



- and Belgium blue on meat quality and fatty acid profile of Holstein calves [J]. *Animal Science Journal*, 2015, 86(11): 913–921.
- [41] FERNÁNDEZ M, ORDÓÑEZ J A, CAMBERO I, et al. Fatty acid compositions of selected varieties of Spanish dry ham related to their nutritional implications [J]. *Food Chemistry*, 2007, 101(1): 107–112.
- [42] LORENZO J M, FUCIÑOS C, PURRIÑOS L, et al. Intramuscular fatty acid composition of “Galician Mountain” foals breed: effect of sex, slaughtered age and livestock production system [J]. *Meat Science*, 2010, 86(3): 825–831.
- [43] CALDER P C. n-3 fatty acids and cardiovascular disease: evidence explained and mechanisms explored [J]. *Clinical Science*, 2004, 107(1): 1–11.
- [44] LEAF A, XIAO Y F, KANG J X, et al. Prevention of sudden cardiac death by n-3 polyunsaturated fatty acids [J]. *Pharmacology & Therapeutics*, 2003, 98(3): 355–377.
- [45] LORENZO J M, PATEIRO M. Influence of type of muscles on nutritional value of foal meat [J]. *Meat Science*, 2013, 93(3): 630–638.
- [46] FRANK D, BALL A, HUGHES J, et al. Sensory and flavor chemistry characteristics of Australian beef: influence of intramuscular fat, feed, and breed [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2016, 64(21): 4299–4311.
- [47] RIBEIRO A F, MESSANA J D, NETO A J, et al. Fatty acid profile, meat quality, and carcass traits of Nellore young bulls fed different sources of forage in high-concentrate diets with crude glycerin [J]. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 2016, 45(4): 165–173.
- [48] CASTAGNINO P S, FIORENTINI G, DALLANTONIA E E, et al. Fatty acid profile and carcass traits of feedlot Nellore cattle fed crude glycerin and virginiamycin [J]. *Meat Science*, 2018, 140: 51–58.
- [49] DASZKIEWICZ T, KUBIAK D, WINARSKI R, et al. The effect of gender on the quality of roe deer (*Capreolus capreolus* L.) meat [J]. *Small Ruminant Research*, 2012, 103(2/3): 169–175.
- [50] BUDIMIR K, TROMBETTA M F, FRANCONI M, et al. Slaughter performance and carcass and meat quality of Bergamasca light lambs according to slaughter age [J]. *Small Ruminant Research*, 2018, 164: 1–7.
- [51] NEETHLING J, HOFFMAN L C, MULLER M. Factors influencing the flavour of game meat: a review [J]. *Meat Science*, 2016, 113: 139–153.
- [52] COSTA A S H, COSTA P, ALVES S P, et al. Does growth path influence beef lipid deposition and fatty acid composition? [J]. *PLoS One*, 2018, 13(4): e0193875.
- [53] TAIT R G, Jr, SHACKELFORD S D, WHEELER T L, et al. *CAPN1*, *CAST*, and *DGAT1* genetic effects on preweaning performance, carcass quality traits, and residual variance of tenderness in a beef cattle population selected for haplotype and allele equalization [J]. *Journal of Animal Science*, 2014, 92(12): 5382–5393.
- [54] SHEN W J, LIANG Y, HONG R, et al. Characterization of the functional interaction of adipocyte lipid-binding protein with hormone-sensitive lipase [J]. *Journal of Biological Chemistry*, 2001, 276(52): 49443–49448.
- [55] IGUCHI K, OKUMURA N, USUI S, et al. Myristoleic acid, a cytotoxic component in the extract from *Serenoa repens*, induces apoptosis and necrosis in human prostatic LNCaP cells [J]. *Prostate*, 2001, 47(1): 59–65.
- [56] OH D Y, LEE Y S, LA B M, et al. Identification of the SNP (single nucleotide polymorphism) for fatty acid composition associated with beef flavor-related FABP4 (fatty acid binding protein 4) in Korean cattle [J]. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 2012, 25(7): 913–920.
- [57] MAHARANI D, JUNG Y, JUNG W Y, et al. Association of five candidate genes with fatty acid composition in Korean cattle [J]. *Molecular Biology Reports*, 2012, 39(5): 6113–6121.
- [58] MAZZUCCO J P, GOSZCZYNSKI D E, RIPOLI M V, et al. Growth, carcass and meat quality traits in beef from Angus, Hereford and cross-breed grazing steers, and their association with SNPs in genes related to fat deposition metabolism [J]. *Meat Science*, 2016, 114: 121–129.
- [59] HAYAKAWA K, SAKAMOTO T, ISHII A, et al. The g.841G>C SNP of *FASN* gene is associated with fatty acid composition in beef cattle [J]. *Animal Science Journal*, 2015, 86(8): 737–746.
- [60] HAUSMAN G J, DODSON M V, AJUWON K, et al. Board-invited review: the biology and regulation of preadipocytes and adipocytes in meat animals [J]. *Journal of Animal Science*, 2009, 87(4): 1218–1246.
- [61] GOSZCZYNSKI D E, MAZZUCCO J P, RIPOLI M V, et al. Genetic characterisation of *PPARG*, *CEBPA*

- and *RXRA*, and their influence on meat quality traits in cattle [J]. *Journal of Animal Science and Technology*, 2016, 58: 14.
- [62] TANIGUCHI M, UTSUGI T, OYAMA K, et al. Genotype of stearoyl-CoA desaturase is associated with fatty acid composition in Japanese black cattle [J]. *Mammalian Genome*, 2004, 15(2): 142-148.
- [63] FIEMS L O. Double muscling in cattle: genes, husbandry, carcasses and meat [J]. *Animals*, 2012, 2(3): 472-506.
- [64] GILL J L, BISHOP S C, MCCORQUODALE C, et al. Associations between the 11-bp deletion in the myostatin gene and carcass quality in Angus-sired cattle [J]. *Animal Genetics*, 2009, 40(1): 97-100.
- [65] WIENER P, WOOLLIAMS J A, FRANK-LAWALE A, et al. The effects of a mutation in the myostatin gene on meat and carcass quality [J]. *Meat Science*, 2009, 83(1): 127-134.
- [66] RAES K, BALCAEN A, DIRINCK P, et al. Meat quality, fatty acid composition and flavour analysis in Belgian retail beef [J]. *Meat Science*, 2003, 65(4): 1237-1246.
- [67] UYTTERHAEGEN L, CLAEYS E, DEMEYER D, et al. Effects of double-muscling on carcass quality, beef tenderness and myofibrillar protein degradation in Belgian blue white bulls [J]. *Meat Science*, 1994, 38(2): 255-267.
- [68] WESTON A R, ROGERS R W, ALTHEN T G. Review: the role of collagen in meat tenderness [J]. *The Professional Animal Scientist*, 2002, 18(2): 107-111.
- [69] SAÑUDO C, MACIE E S, OLLETA J L, et al. The effects of slaughter weight, breed type and ageing time on beef meat quality using two different texture devices [J]. *Meat Science*, 2004, 66(4): 925-932.
- [70] RAES K, DE SMET S, DEMEYER D. Effect of double-muscling in Belgian blue young bulls on the intramuscular fatty acid composition with emphasis on conjugated linoleic acid and polyunsaturated fatty acids [J]. *Animal Science*, 2001, 73(2): 253-260.
- [71] BRUGIAPAGLIA A, LUSSIANA C, DESTEFANIS G. Fatty acid profile and cholesterol content of beef at retail of Piemontese, Limousin and Friesian breeds [J]. *Meat Science*, 2014, 96(1): 568-573.
- [72] KEADY S M, WATERS S M, HAMILL R M, et al. Compensatory growth in crossbred Aberdeen Angus and Belgian blue steers: effects on the colour, shear force and sensory characteristics of *longissimus* muscle [J]. *Meat Science*, 2017, 125: 128-136.

## Meat Quality Traits of Cattle and It Influence Factors

WANG Xin LI Guangpeng\*

(The State key Laboratory of Reproductive Regulation and Breeding of Grassland Livestock, Inner Mongolia University, Hohhot 010070, China)

**Abstract:** The meat quality traits can be assessed by the characteristics of pH, color, tenderness, water holding capacity, intramuscular fat content and fatty acid composition. These traits are influenced by both genetic and environmental factors, including breed, age, sex, feeding management and slaughtering techniques. It can be accepted that the meat from calves, cows or steers have more advantages on the quality compared with adult bulls in the same breeds. Moreover, polymorphisms at some genes also affect meat quality, such as calpastatin, calpain, diacylglycerol acyltransferase 1, fatty acid binding protein 4 and stearoyl-CoA desaturase. The pre-slaughter acute stress and the post-slaughter aging treatment also have impacts on the meat quality through the ultimate pH. In addition, it is worth noting that the mutations on myostatin gene can increase the meat production and may have an effect on meat quality. The present study reviewed the most recent progress of the factors affecting beef meat qualities. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, 31(11): 4949-4958]

**Key words:** beef; meat color; tenderness; intramuscular fat; fatty acid synthesis; myostatin

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

\* Corresponding author, professor, E-mail: gpengli@imu.edu.cn