



# PIC®总胴体价值手册



PIC中国

地址：上海市徐汇区漕宝路509号华美达广场1101室

邮编：200233

电话：862134612020

网站：<https://cn.pic.com>

Never Stop Improving

PIC® 2023

PIC®

# 前言



《PIC猪肉品质蓝图》于1996年首次制定，旨在帮助全球猪肉供应链生产出优质、可口的猪肉。考虑到该主题的复杂性，在生猪养殖、运输和屠宰场的各个环节当中，确定并处理影响猪肉品质的所有遗传和环境相互作用（GxE）至关重要。在过去25年多里，这本立足科学、聚焦行业的实用性指南持续定期更新，确保PIC不断为全球猪肉行业创造价值。

PIC努力为行业带来总胴体价值方面的最新详细信息以及实用管理建议，这本最新的综合性《PIC胴体价值手册》正代表了我们所做的努力。胴体价值综合了胴体产量、肉品品质和脂肪品质，其关键特性包括肌肉pH值和pH值下降、猪肉和脂肪的颜色和硬度、食用体验和加工特性。对于胴体价值，本手册不涉及食品安全和保质期方面。文末详细列出了广泛的参考书目和参考资料。

PIC致力于通过平衡生猪生产性能、胴体和猪肉品质的遗传改良计划以及相关技术服务，促进全球猪肉行业取得成功。此外，PIC的遗传改良侧重于提高整体胴体品质，包括初分割和精分割重量、分布和品质，这一遗传改良计划已经执行了50多年。

PIC不断改善遗传工具、运算技术、精英农场纯系、终端品系和有系谱记录的扩繁群体，实现最佳遗传改良。如需获取关于PIC初分割价值和肉品品质遗传计划的最新信息，请联系应用肉品科学团队。

## 目录

<b>第一节 胸体组成 .....</b>	<b>1</b>
1.1 胸体组成的测量 .....	2
1.1.1 胸体瘦肉率的测定方法.....	2
1.1.2 胸体瘦肉率测定方程.....	8
1.1.3 定价系统.....	9
1.2 初分割和细分割 .....	14
1.2.1 区域差异.....	16
1.3 胸体产量 .....	16
1.3.1 什么是胸体产量？胸体产量重要吗?.....	16
1.3.2 影响胸体产量的因素.....	18
<b>第二节 定义猪肉品质和PIC®蓝图，实现理想结果 .....</b>	<b>25</b>
2.1 PIC蓝图.....	26
<b>第三节 猪瘦肉品质 .....</b>	<b>29</b>
3.1 猪瘦肉品质测定.....	29
3.1.1 关键指标.....	30
3.1.2 猪肉品质测定步骤.....	31
3.2 影响瘦肉品质的因素.....	42
3.2.1 肌肉转化为肉.....	42
3.2.2 肉品品质形成.....	45
3.2.3 影响pH值下降和肉品品质的因素.....	47
3.2.4 胸体冷却原理及其对肉品品质的影响.....	51
3.2.5 致昏原理及其对肉品品质的影响.....	54
3.2.6 放血原理及其对肉品品质的影响.....	59
3.3 管理瘦肉品质.....	62
3.3.1 遗传.....	62
3.3.2 营养.....	63
3.3.3 猪场装猪.....	64
3.3.4 运猪.....	65
3.3.5 卸猪.....	67
3.3.6 待宰圈管理.....	67
3.3.7 致昏.....	69
3.3.8 放血.....	71
3.3.9 致昏至冷却.....	73
3.3.10 胸体冷却.....	73
<b>第四节 脂肪品质 .....</b>	<b>75</b>
4.1 脂肪品质测定 .....	76
4.1.1 关键指标.....	76
4.1.2 猪肉脂肪品质测定.....	76
4.2 影响脂肪品质的因素 .....	80
4.2.1 脂肪品质生物学.....	80
4.2.2 非营养性因素对脂肪品质的影响.....	82
4.2.3 营养对脂肪品质的影响.....	88
4.3 管理脂肪品质 .....	89
4.3.1 改善脂肪品质的日粮配方.....	89
4.3.2 通过日粮形式和微量成分来管理脂肪品质.....	94
<b>第五节 性别对品质的影响 .....</b>	<b>95</b>
5.1 阉猪、后备母猪和公猪的瘦肉品质差异.....	96
5.2 阉猪、后备母猪和公猪的脂肪品质差异.....	96
5.3 公猪膻味 .....	97
5.3.1 公猪膻味的遗传管理.....	98
5.3.2 公猪膻味的猪场养殖管理 .....	98
5.3.3 公猪膻味的屠宰场管理 .....	99
<b>结语 .....</b>	<b>101</b>
<b>参考文献 .....</b>	<b>103</b>



## 第一节 胴体组成



胴体组成是决定胴体价值的重要因素。胴体组成的测定范围可从简单的胴体称重到用测量仪器测定胴体瘦肉率。胴体组成的某些性状在世界各地都广泛应用于猪的定价。

猪的定价取决于能为购猪的屠宰厂或者整个产业体系带来多少价值。许多国家对评估胴体组成的方法和方程有明确规定，而在其他国家，各个公司会自行开发和使用自己的专有方法和方程。

确定评估方法后，就需要开发一套定价系统来明确胴体的价值。虽然胴体评估方面有国家标准，定价系统依旧因公司而异。由于最终价格通常取决于该定价系统当中哪部分分割肉价格最贵，不同地区之间定价系统的设计可能会有很大差异。此外，针对在当地畅销的分割肉，为了进一步提升其价值，不同地区可能会采取不同的胴体分割方式。

本节的其余部分将更详细地介绍胴体组成的测定，包括测定方法和方程、胴体初分割和胴体产量。

## 1.1 脊体组成的测定

测定脊体组成的方法可能因国家而异，甚至同一个国家因屠宰厂而异。本小节将介绍测量脊体组成的不同方法和设备。影响脊体价值的一些最重要的因素包括：

1. 脊体及初分割肉重量
2. 脊体及初分割瘦肉率
3. 屠宰率/修整损耗

其中部分因素采取直接测量（例如脊体重），而其他一些因素（例如瘦肉率）更常见的是通过更简便的测量仪器进行估测。本小节以下部分概述了脊体瘦肉率的五种测定方法。

### 1.1.1 脊体瘦肉率的测定方法

#### 直接测量

直接测量可以评估各种脊体性状。其中一些性状可用于直接评估脊体价值，而其他性状仅可用于价值估测。

##### 1. 初分割肉重量

- a. 对脊体价值的最佳整体评估。
- b. 对每部分初分割肉块称重。
- c. 可能耗时耗力。
- d. 可通过近似分析或切分瘦肉对初分割产量进行更复杂的评估。

##### 2. 脊体长度

- a. 从第1肋骨到臀骨沿直线测量（图1.1）。
- b. 通常不被视为测量脊体价值的好方法。然而脊体更长，初分割肉（例如里脊或五花）的商业价值就更高。
- c. 与脊体瘦肉含量几乎无关。

##### 3. 背膘和眼肌面积/深度

- a. 背膘可用尺子沿背中线的不同位置测量（图1.1）。
  - i. 第1肋背膘
  - ii. 第7肋背膘
  - iii. 第10肋背膘
  - iv. 最后一肋背膘
  - v. 最后腰椎背膘
- b. 可在带肋骨的脊体上测定背膘和眼肌（图1.2）。
  - i. P2背膘厚度——通常在最后一根肋骨或第10肋离背中线6.5厘米处测定。
  - ii. 眼肌深度——在P2点背膘的测量点垂直于体表测量从腰部背侧到腹面的距离。
  - iii. 眼肌面积——测量眼肌总面积可用分级坐标方格测定，或者在醋酸纸上描绘出眼肌轮廓后，用求积仪测出实际面积。
- c. 背膘也可使用内腔检测仪测量（图1.3）。
  - i. 只可测量背膘，不可测量眼肌深度。
  - ii. 对于生产线速度较慢的商业屠宰厂，这是一种低成本测定P2背膘的方案。

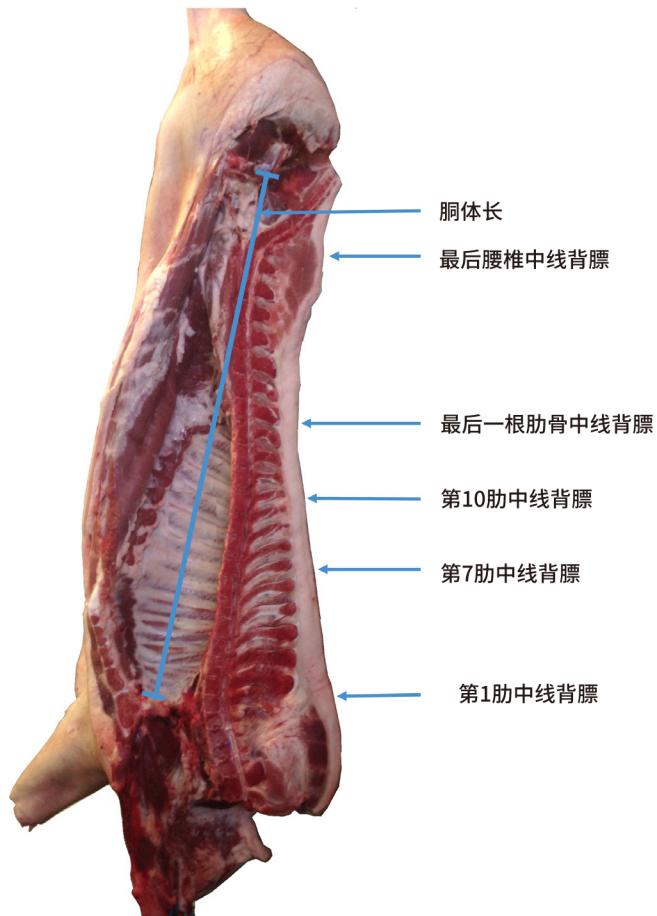


图1.1 常见的胴体测量位置

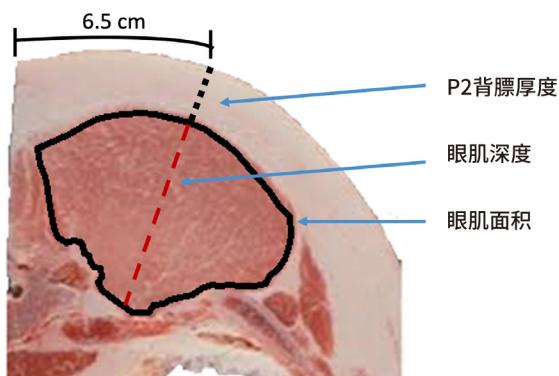


图1.2 带肋骨的胴体分级

照片来源：内布拉斯加大学猪肌肉学



图1.3 用于测定背膘厚度的内腔检测仪

## 间接测量

### 1. 体型眼观评估

在世界某些地区，人们为了定价或分级，会根据生猪和胴体体型（或肌肉评分）评估生猪/胴体价值。

#### a. 生猪眼观体型

- i. 在世界的许多地区，猪贩（“中间商”）会根据生猪体型向农场购猪。
- ii. 中间商通常会为眼观评分更高的生猪支付更高的价格。
- iii. 眼观评分通常没有统一标准，由每个中间商自行决定。

#### b. 胴体体型

- i. 全球各地的一些市场上，会通过胴体体型按市场需求对胴体采取眼观评估分级，这一步骤可直接或间接纳入到定价系统中。
- ii. 确实存在胴体体型评分系统，其中大部分与胴体体型分级采取的是相似的评估方式（图1.4）。

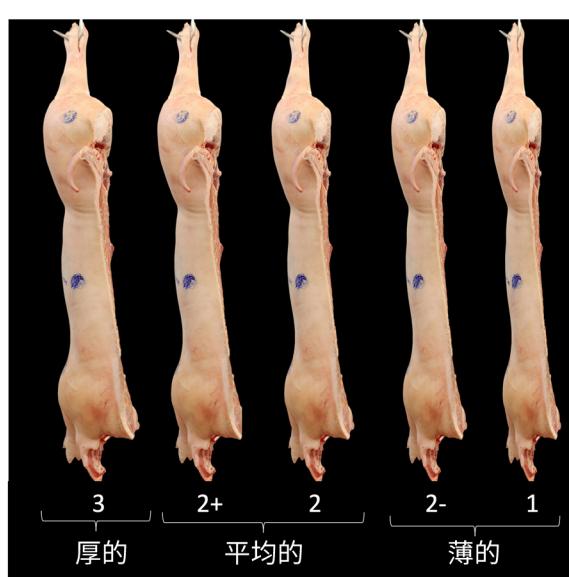


图1.4 猪肉胴体体型评估系统示例

改编自Elisabeth Lonergan拍摄的照片

### 2. 光纤探针

30多年来，光纤探针已被屠宰厂广泛用于测定胴体组成，可测量背膘厚度和眼肌深度。通过不同的计算方程，这些测量得到的数据有助于估测胴体的瘦肉率或分割肉产量。

光线探针的工作原理是白色的脂肪和骨骼的反射光与微红色的瘦肉组织的反射光之间的差异。基于光反射曲线（图1.5），在插入或拔出（取决于探针型号）时，可以测定背膘和眼肌深度。

可在全部眼肌的任何位置测量背膘和眼肌深度，不过大多数情况下是测量第10根肋骨或最后一根肋骨P2点处，因为这两处与胴体瘦肉率的相关性最高。

光纤探针非常适合商业屠宰厂，可用于每小时最多1300头猪的生产线。全球屠宰厂常用的光纤探针包括（图1.6）：

- a. Fat-o-Meat'er<sup>TM</sup> 分级探针
- b. HGP分级探针
- c. PG-100探针

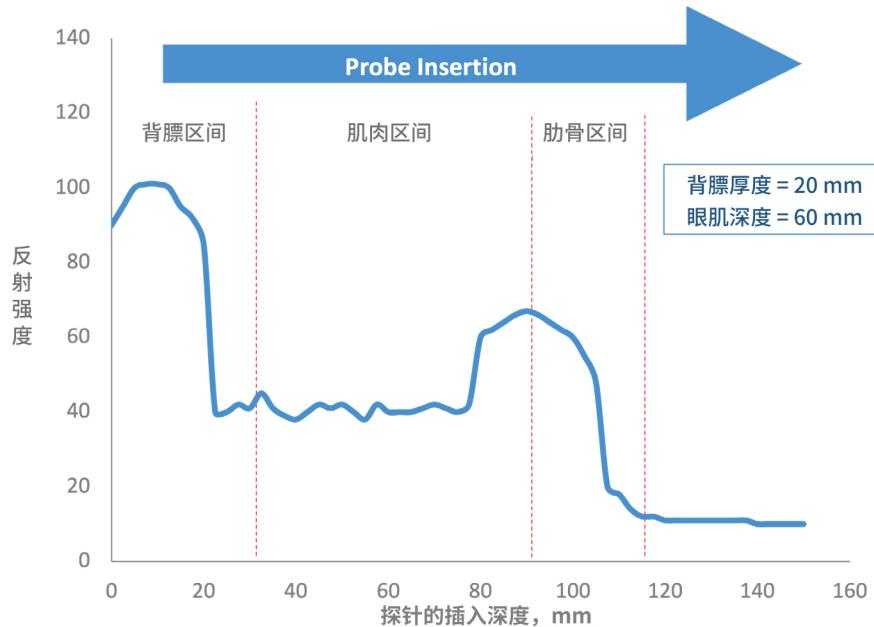
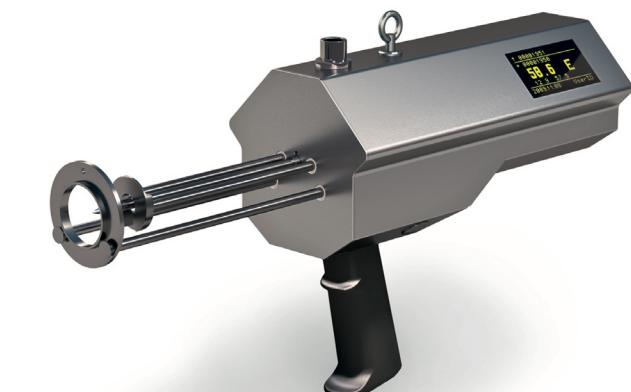


图1.5 用于测定背膘和眼肌深度的光学分级探针光反射曲线



Frontmatec Fat-O-Meat'er II™

图1.6 光学分级探针示例

图片来源：Frontmatec (<https://www.frontmatec.com/>)

### 3. 超声测定

超声技术可用于估测胴体组成，生猪和胴体均适用。从市面上的定价方式来看，该技术主要用于胴体。

根据具体设备的不同，可在腰部的一小块区域或整个胴体上获取超声测量数据：

a. BioQScan和CVT系统（图1.7）是两种常用的超声系统，用于测量腰部的一小块区域。

b. AutoFOM（图1.8）超声系统可测量整个胴体。AutoFOM可以说是最详细的商业胴体分级系统，它会对每个胴体进行3200次测量。除了测量背膘和眼肌深度外，它还可以给出单个初分割或精分割肉重量的准确信息。



BioQscan®

图1.7 超声波胴体分级仪

图片来源: Biotronics <http://www.biotronics-inc.com/>

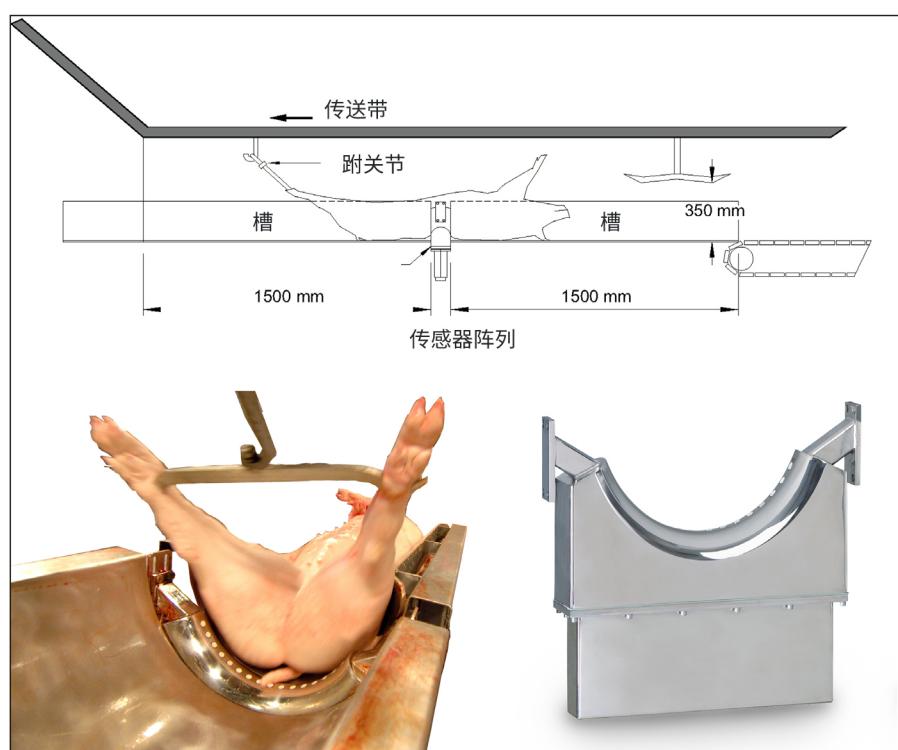
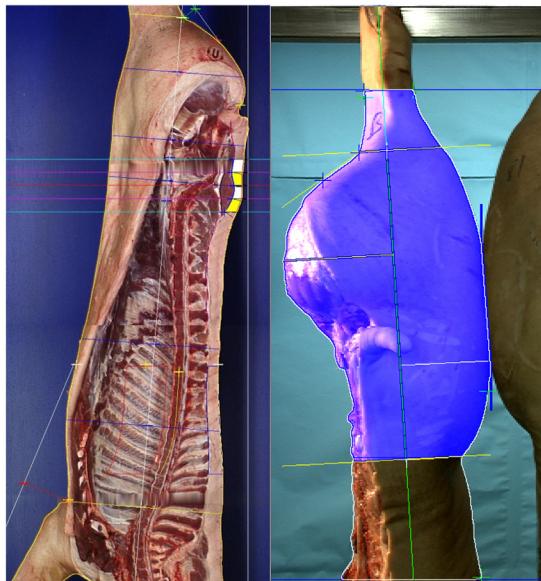


图1.8 AutoFOM III系统

图片来源: Frontmatec <https://www.frontmatec.com/>

#### 4. 视频图像分析

视频图像分析很少用于评估胴体组成。大多数此类系统侧重于对腰部中线的测量，有些还结合了后腿体型分析（图1.9）。两种最常用的图像胴体分级系统是CS 2000和CSB Image Meater。



VCS 2000 Image System

图1.9 视觉分级系统示例

图片来源: e+V Technology GmbH & Co.

## 1.1.2 胴体瘦肉率方程

无论采用什么方式估算胴体组成，均必须设计方程来估测瘦肉率和/或初分割重。许多国家为每一种获批的分级设备都制定了强制性的“国家方程”以确保操作规范，其他国家则允许各个公司根据所选的分级方法，开发和应用自己的方程。

每种方程都是基于特定的分级方法开发的。一些方程可能需要对胴体进行全部或部分分割，而其他方程只要求获得各分割肉的估测比例。因此，同一胴体最终计算出的瘦肉率可能会因方程而异。

表1.1为来自不同国家的10个方程，用于估算背膘15 mm和眼肌深度65 mm的猪的瘦肉率。尽管背膘和眼肌深度的测量值相同，计算得出的瘦肉率却在57.0%至69.1%之间。这并不意味着这些方程孰优孰劣，而是表明它们在开发时采用了不同的瘦肉率测定方法。

表1.1 使用不同国家公式计算得出的背膘15 mm和眼肌深度65 mm的猪瘦肉率

国家	设备	截距	背膘系数	腰深系数	瘦肉率
捷克共和国	Fat-O-Meater	59.8613	0.7293	0.1285	57.3
克罗地亚	Hennessey Grading Probe	59.6037	0.8640	0.1820	58.5
法国	UltraFOM	66.4900	0.8910	0.1040	59.9
德国	Fat-O-Meater	61.8000	0.8830	0.1550	58.6
荷兰	CGM	66.8600	0.6549	0.0207	58.4
波兰	CGM	50.1193	0.6242	0.2698	58.3
罗马尼亚	Fat-O-Meater	60.2699	0.8151	0.2010	61.1
西班牙	Fat-O-Meater	64.5300	0.8760	0.1810	63.2
南非	Hennessey Grading Probe	72.5114	0.4618	0.0547	69.1
美国“SFK标准”	Fat-O-Meater	58.9000	0.6100	0.1120	57.0

方程开发的过程很艰难，工作量巨大。要获得统计上有效且商业上适用的方程，用于方程开发的总体方差是关键。重要的是，测试胴体需根据商业应用的实际情况，均匀分布在不同的胴体重、背膘和眼肌深度范围内。

分布曲线的两端尤为重要，虽然它们通常出现的频率最低，但对于确保开发出的方程具有良好的统计学意义至关重要。如果该方程将用于多种基因型，则应使用各种不同基因型的数据建立该方程。同样，如果该方程将用于不同性别的生猪/胴体分级，则应使用不同性别的数据。

### 1.1.3 定价系统

尽管有些国家出台了一些标准化规范，定价系统仍可能因公司而异，甚至同一个公司的不同屠宰厂之间也会有差异。大多数定价系统都基于体重，根据屠宰厂不同，可能使用活重或胴体重。

大多数国家都发布了基准价格的标准化报告（表1.2）。基准价的确定通常参考一个国家或该国某个地区价格的加权平均值。基准价可能因屠宰厂而异，具体取决于这些实体企业的实际采购价。

表1.2 常见生猪生产国的基准价标准

国家	体重类型	基准价
美国	胴体重	\$/100 lbs
墨西哥	活重	\$/kg
加拿大	胴体重	\$/100 kg
哥伦比亚	活重	\$/kg
巴西	活重	R\$/kg
智利	活重	\$/kg
西班牙	活重	€/kg
德国	胴体重	€/kg
荷兰	活重	€/kg
丹麦	胴体重	kr/kg
俄罗斯	活重	₽/kg
意大利	活重	€/kg
乌克兰	活重	₴/kg
波兰	胴体重	zł/kg
罗马尼亚	活重	lei/kg
法国	胴体重	€/kg
英国	胴体重	£/ 100 kg
澳大利亚	胴体重	\$/kg
南非	胴体重	R/kg
菲律宾	活重	₱/kg
中国	活重	¥/kg
越南	活重	VND/kg
韩国	胴体重	₩/kg

在某些情况下，猪可按每公斤基准价出售。此时，基准价是既定值，后续再通过不同的定价计划调整总价格，由此引导养猪企业提供具有屠宰厂所需性状的猪只。

在这些定价系统中，最基础的系统类型只涉及体重。图1.10是基于胴体重（kg）的定价系统示例。该屠宰厂表示他们希望生猪的热胴体重在82至95kg之间。热胴体重离理想范围越远，胴体的折价就越大。该类系统有助于确保农场根据屠宰厂体重偏好来输送猪只。图1.11为使用图1.10所示的定价系统时，屠宰厂屠宰约65000头猪的定价结果。在该示例中，几乎66%的猪都在理想体重范围内出售，仅1.5%的猪按每公斤-0.35至-0.75美元折价。

体重范围	折价
< 58 kg	-\$0.75/kg
59 至 68 kg	-\$0.35/kg
69 至 74 kg	-\$0.15/kg
75 至 78 kg	-\$0.07/kg
79 至 81 kg	-\$0.02/kg
82 至 95 kg	\$0.00/kg
96 至 98 kg	-\$0.04/kg
99 至 102 kg	-\$0.10/kg
103 至 108 kg	-\$0.20/kg
109 至 112 kg	-\$0.45/kg
> 112 kg	-\$0.65/kg

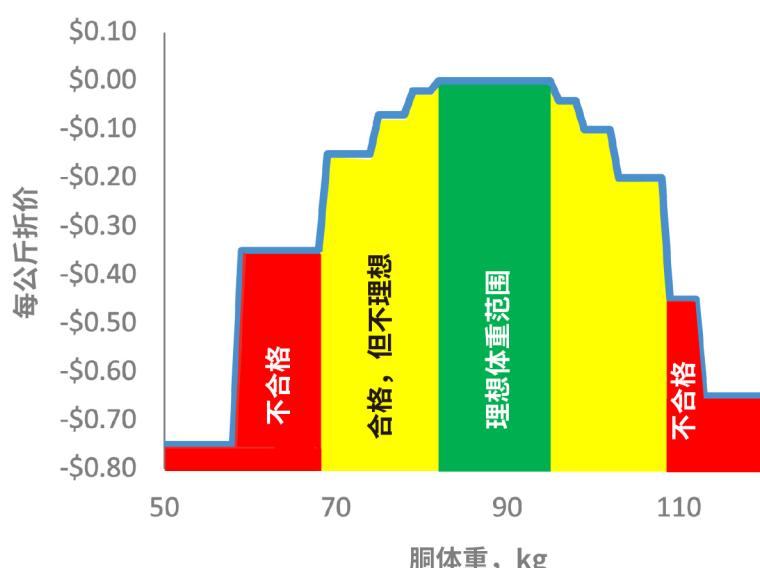


图1.10 基于体重的定价方案示例

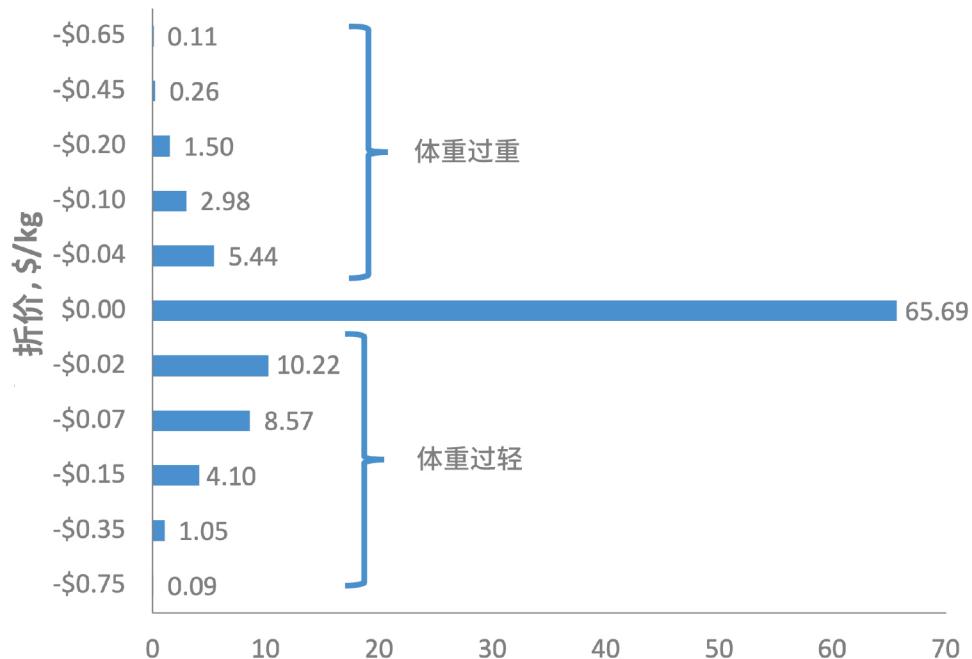


图1.11 体重折价对出栏重的引导作用-演示图\*

占全部猪的比例，%

a基于5家农场在市场上向美国某家大型屠宰厂出售64669头生猪的数据。

这只是许多可能情况中的一个例子。取决于屠宰厂希望看到的结果，不同的定价系统可能将体重价格分为不同的类别，甚至为某个体重类别支付溢价。

瘦肉率是另一种常见的影响定价的要素。图1.12是基于胴体瘦肉率的定价系统示例，该示例与图1.10所示的出栏重折价方案结合使用。在这种结算系统中，屠宰厂希望瘦肉率在51至60.9%之间，任何瘦肉率低于51%的胴体都将遭到折价。这种瘦肉溢价系统也对生猪出栏有引导作用。大约81%的猪只在理想的瘦肉率范围内，而只有6.5%的猪只瘦肉率不合格（图1.13）。这两种分别基于体重和瘦肉率的定价系统展示了不同的激励措施是如何影响生猪销售的，确保送到屠宰厂的猪只符合标准。

瘦肉率%	折价
< 43%	-\$0.25/kg
43 至 44.9%	-\$0.20/kg
45 至 46.9%	-\$0.15/kg
47 至 48.9 %	-\$0.10/kg
49 至 50.9 %	-\$0.05/kg
51 至 52.9 %	\$0.00/kg
53 至 54.9 %	\$0.05/kg
55 至 56.9 %	\$0.07/kg
57 至 58.9 %	\$0.09/kg
59 至 60.9 %	\$0.06/kg
> 60.9%	\$0.00/kg

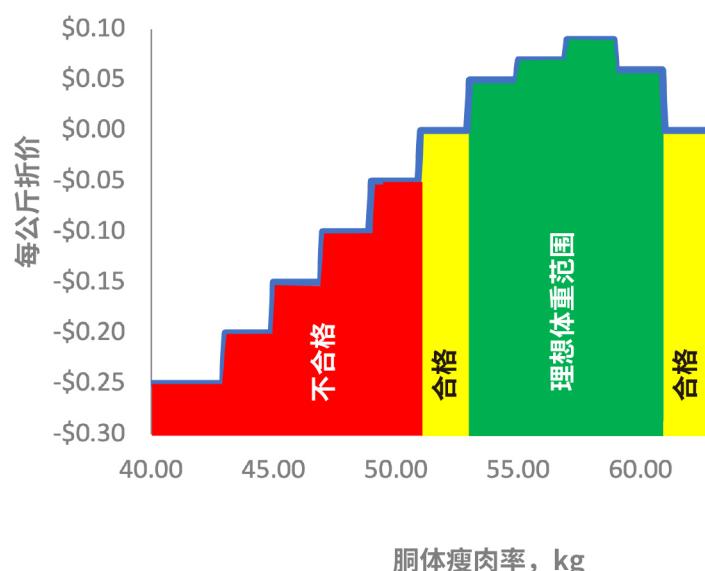


图1.12 基于瘦肉率的定价方案示例

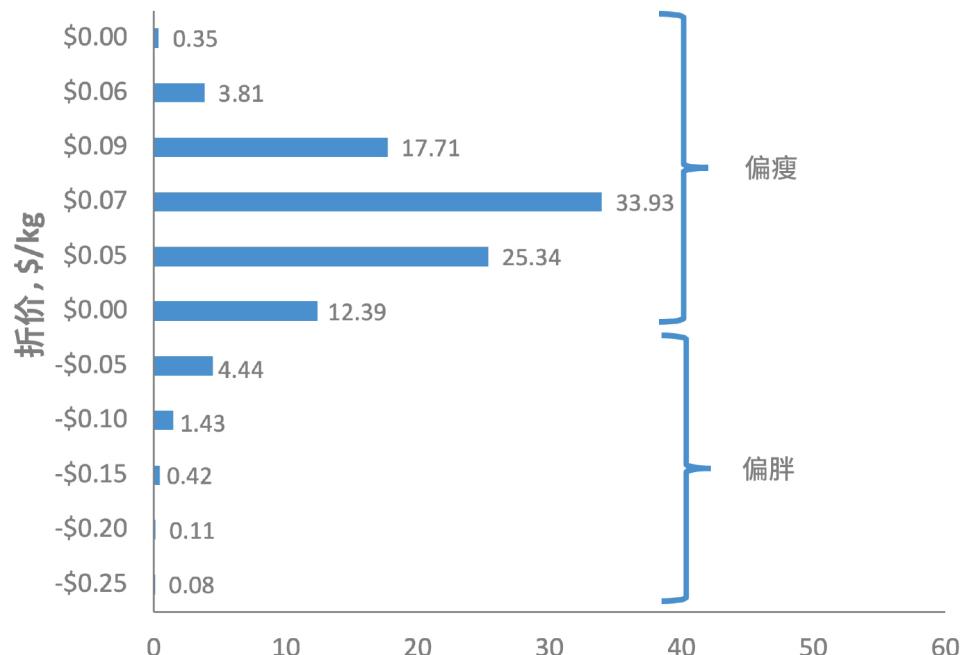


图1.13 瘦肉率溢价/折价对胴体瘦肉率的引导作用-演示图<sup>a</sup>  
占全部猪的比例，%

世界各地使用的定价系统都是基于上述两种系统产生的，例如欧盟的SEUROP系统（表1.3）。SEUROP系统根据瘦肉率进行分级或分类。该分类系统虽是欧盟采用的统一标准，不过各个屠宰厂为每个SEUROP类别支付的价格可能不同。例如，一家企业可能会为S级胴体每公斤多付5欧分，而另一家企业可能只为每个胴体多支付2欧分，但给出的基准价更高。

表1.3 欧盟SEUROP瘦肉率分级系统

SEUROP代码	瘦肉率%
S	> 60%
E	55 至 60%
U	50 至 54.9%
R	45 至 49.9%
O	40 至 44.9%
P	< 40%

对于同一类别的胴体，要确定哪一家屠宰厂支付的最终价格更高或更低并不像确定哪一家屠宰厂给出的溢价更高那么简单。虽然SEUROP分类系统在欧洲范围内使用，但并非用于欧洲所有地方。以德国为例，许多大型屠宰厂使用AutoFOM系统确定初分割肉重和瘦肉率。该系统基于初分割肉重、腹肋瘦肉率和胴体重进行价格结算（图1.14），并利用指数点确定胴体的最终基准价。

在中国，大部分生猪按活重交易，少部分生猪按胴体重交易，屠宰厂按胴体重和胴体级别进一步出售给猪肉加工。在不同的屠宰企业，胴体分级标准有所差异，基本上是以国家标准为基础，下表来自《瘦肉型猪肉质量分级》报批稿。

表1.4 胴体重量等级

背膘厚度, cm	胴体重, kg		
	66~102 (带皮) 或61~97 (去皮)	>102 (带皮) 或>97 (去皮)	<66 (带皮) 或<61 (去皮)
≤2.0	一级	二级	五级
2.1~3.0	二级	三级	六级
3.1~4.0	三级	四级	等外
4.1~5.0	四级	五级	等外
>5.0	五级	六级	等外

此外，也有其他的国家分级系统，例如俄罗斯的GOST系统（表1.5）。该系统主要测量胴体重以及第6和第7肋间的背膘厚度。尽管俄罗斯的大多数大型一体化企业不使用GOST分级/定价系统，但许多屠宰厂用它向农场支付胴体费用并将胴体进一步出售给猪肉加工。

表1.5 俄罗斯国家胴体分级标准 (GOST)

分级 <sup>a</sup>	说明	胴体重, kg	背膘厚度 <sup>b</sup>	每公斤价格
1	阉猪和后备母猪	带皮- 47 至 68 kg <sup>d</sup> 带皮- 52 至 75 kg <sup>e</sup>	≤ 20 mm	140.00 ₽
2	阉猪和后备母猪	带皮- 47 至 102 kg <sup>d</sup> 带皮- 52 至 113 kg <sup>e</sup> 去皮- 45 至 91 kg	≤ 30 mm	138.00 ₽
3	阉猪和后备母猪	带皮-高达 102 kg <sup>c</sup> 带皮-高达 113 kg <sup>d</sup> 带皮-高达 91 kg	> 30 mm	135.00 ₽

<sup>a</sup> 非商品猪还有其他分级（即 4 = 母猪；5 = 3至7公斤仔猪；6 = 公猪）。

<sup>b</sup> 在第6和第7肋间的背中线上测量。

<sup>c</sup> 皮肤无划痕、损伤或血斑。

<sup>d</sup> 头、蹄和尾已切除。

<sup>e</sup> 头、蹄和尾未切除

去骨腰肉重, kg	指数因子	腹肋瘦肉率%	指数因子
< 6 kg	2.5	< 45%	1
6 至 6.5 kg	2.75	45 至 49.99%	1.05
6.6 至 7.5 kg	3.6	50 至 54.99%	1.5
7.1 至 8 kg	3.4	55 至 59.99%	1.8
> 8 kg	3	≥ 60%	1.7

去骨后腿重, kg	指数因子	胴体重, kg	指数因子
< 15kg	1.8	< 85 kg	-1
15.0 至 17.0 kg	2.3	85 至 87.99 kg	-0.5
17.1 至 18.5 kg	2.75	88 至 102 kg	0
18.6 至 21 kg	2.5	102.1 至 105 kg	-0.5
> 21 kg	2	> 105 kg	-1

图1.14 德国工厂采用的AutoFOM结算系统

\* 根据腰肉（或腿肉）重量确定指数因子，再用腰肉（或腿肉）重量乘以指数因子，得出指数点。

\* 根据腹肋瘦肉率确定腹肋的指数因子，再用腹肋重量乘以指数因子，得出指数点。

\* 如果胴体重在理想范围之外，则用指数因子乘以实际重量超出理想重量范围的差值。

例如：

-胴体重为82，则： $88 - 82 = 6$  和  $6 \times -1 = -6$  指数点。

-胴体重为105，则： $105 - 102 = 3$  和  $3 \times -0.5 = -1.5$  指数点。

\* 最小和最大指数点分别为70和104。

	重量或%	指数因子	指数点		重量或%	指数因子	指数点
去骨腰肉	8.0 kg	3.40	27.2	去骨腰肉	7.3 kg	3.40	24.82
去骨腿肉	18.5 kg	2.75	50.875	去骨腿肉	19.0 kg	2.50	47.5
腹肋瘦肉率	59.00 %	1.80	-	腹肋瘦肉率	54.68 %	1.50	-
腹肋重量	14.2 kg	-	25.56	腹肋重量	16.0 kg	-	24
胴体重	100 kg	0	0	胴体重	105 kg	-0.5	-1.5
	总指数点		103.64		总指数点		94.82
	基准价, \$/kg		\$1.30		基准价, \$/kg		\$1.30
	调整后的基准价, \$/kg		\$1.35		调整后的基准价, \$/kg		\$1.23

### 示例1

### 示例2

虽然重量和瘦肉率是生猪收购价格的主要组成部分，但其他因素也会影响价格。一些屠宰厂为尽量减少体重差异，会为体重均匀的同一批猪支付溢价。世界各地的许多屠宰厂都会测定脂肪品质，该性状会影响屠宰厂支付给农场的最终价格。通常的做法是设定农场在预定时期内必须达到的最低平均值（即月平均值）。在一些国家，与后备母猪和阉猪相比，如果出售的是公猪，价格会进一步降低。

总之，每个屠宰厂支付的价格都可能不同。定价系统中的微小差异都会影响到重量、胴体组成以及其它性状，这些性状决定了哪种类型的猪只可以获得最高净利润。

## 1.2 初分割和精分割

由于猪肉是一种全球贸易商品，胴体分割在世界各地一般采取标准化操作，尤其是在大型屠宰厂中。在大多数情况下，胴体首先会进行“粗分”处理。在此过程中，胴体被分割为不同比例的三份，分别为后段、中段（腰腹）和前段（图1.15）。粗分后，这些部位会被进一步切分成初分割肉块。

六种主要的初分割部位包括：

1. 带骨腿肉
2. 带骨大排
3. 五花
4. 小排
5. 肩颈
6. 前腿肉

这些初分割肉块可进一步切分为精分割肉块。由于公司和屠宰厂之间的分割规格不同，初分割和精分割可能略有不同，而世界不同地区之间的分割差异更大。本小节稍后将对这些分割差异进行解释。此外，世界各地的命名方式也各不相同，本小节也会阐明这些名称上的差异。图1.16、1.17和1.18是北美地区如何对胴体进行初分割和精分割的示例。

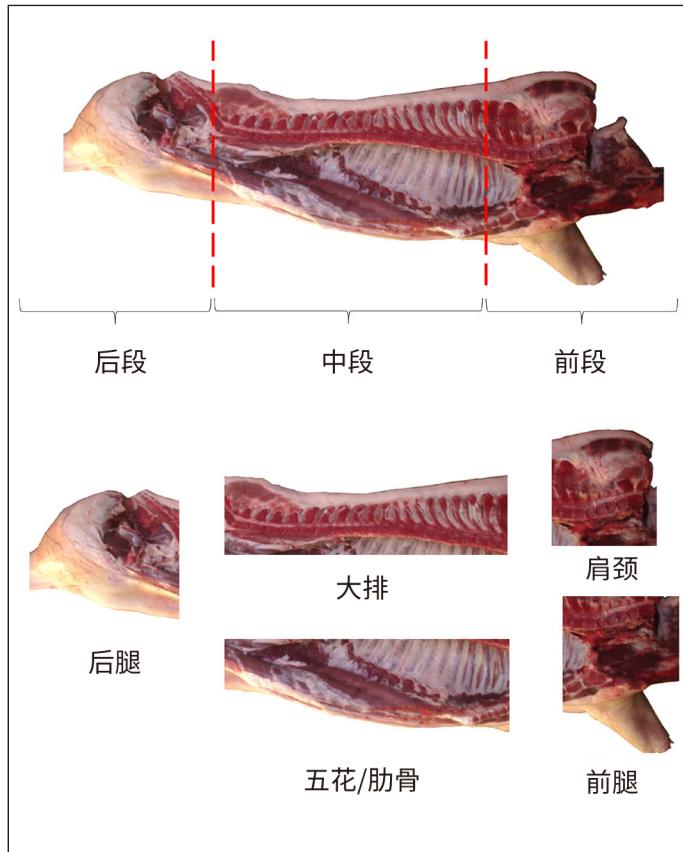


图1.15 脊体的初分割

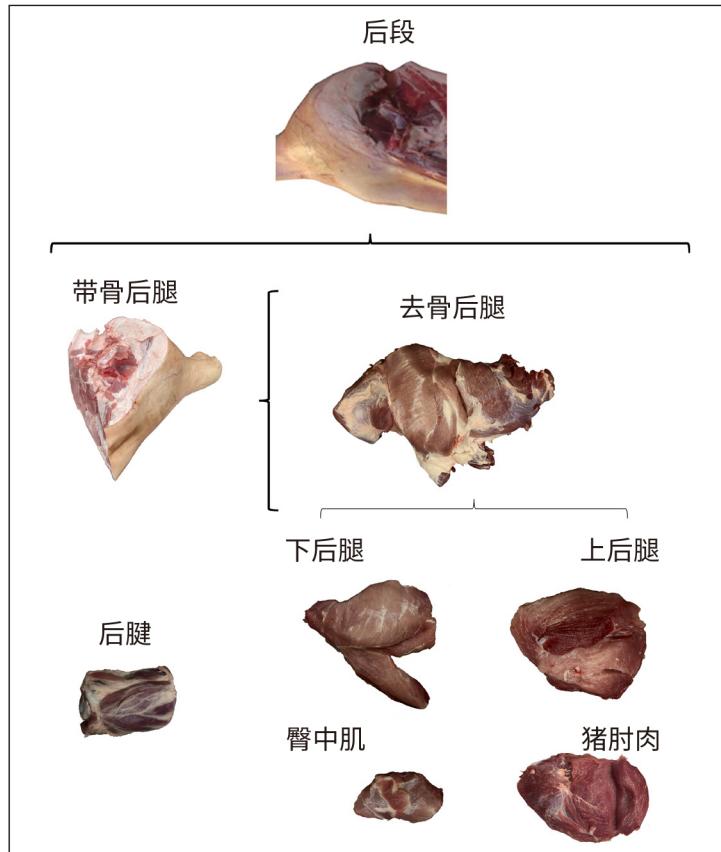


图1.16 后段和主要的精分割肉块

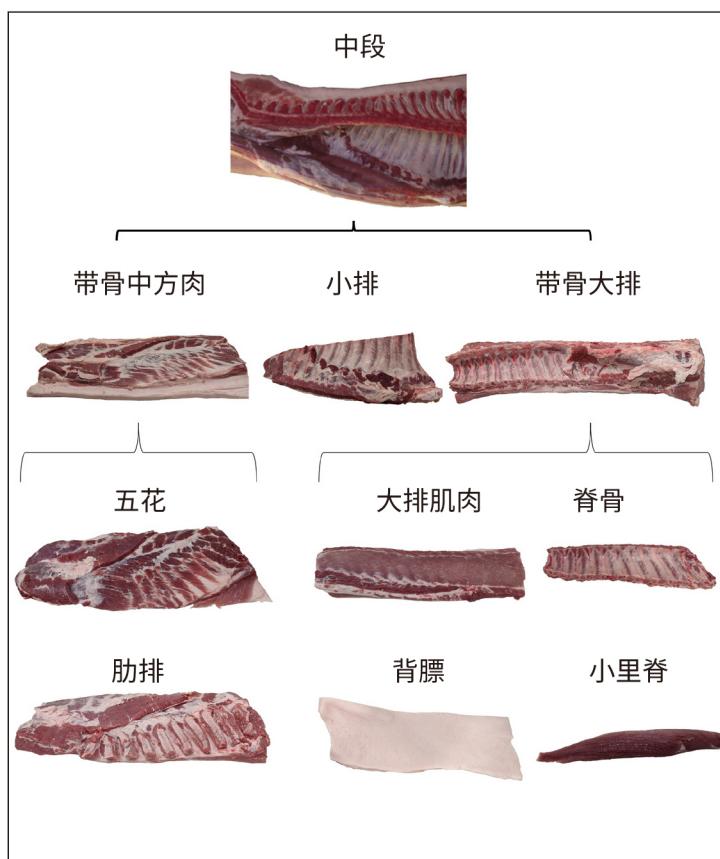


图1.17 中段和主要的精分割肉块

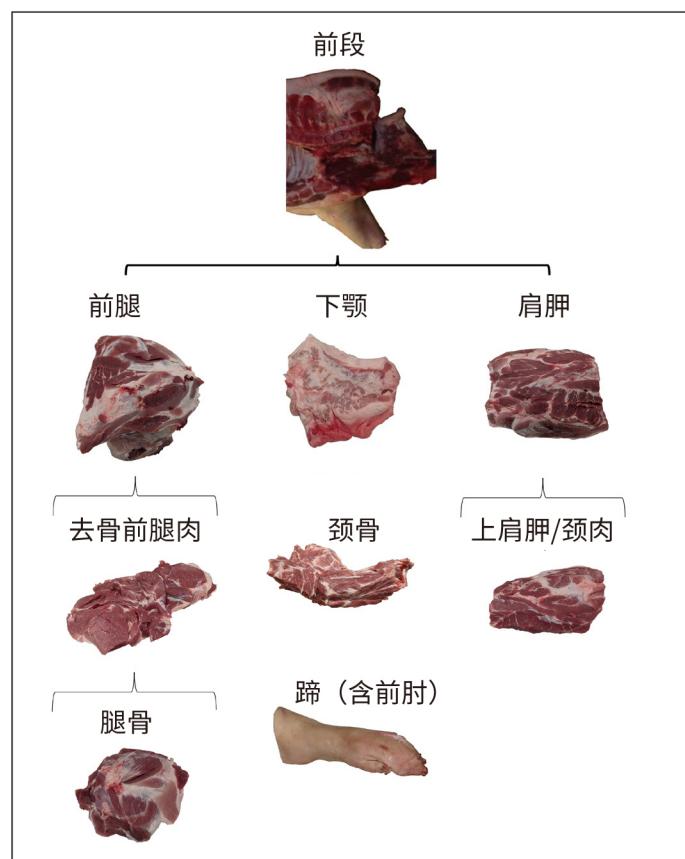


图1.18 前段和主要的精分割肉块

### 1.2.1 区域差异

图1.19概述了前、中和后段分割方式的主要差异，这取决于屠宰厂所在区域。

在中国，根据GB/T 40466-2021 畜禽肉分割技术规程猪肉，从第5-6肋骨间（含锁骨，前后可偏差1根肋骨）对应的胸椎处垂直片猪肉中线下锯（刀），锯（割）下的前腿部位为前段；从腰椎与荐椎连接部下锯（刀），锯（割）下的后退部位为后段；中间部位为中段。

在美国和加拿大，后段通常在同一位置分割，即约在臀骨前3.8至8.8 cm（1.4至3.5 in）处垂直于脊椎分割。世界上大多数其他地区，后腿垂直于后腱分割，但这个位置包括部分腰部区域的里脊。由于这种胴体的分割差异，美国和加拿大以外地区的带骨后腿更大。

不同国家分割中段和前段的位置也不同。在美国，分割点位于在第1和第2肋骨之间，在加拿大，位于第2和第3肋骨之间，而在大多数其他地区，则位于第4和第5肋骨之间（称为第4-5肋分法）。这些差异导致美国和加拿大的中段要比其他地区的重得多。

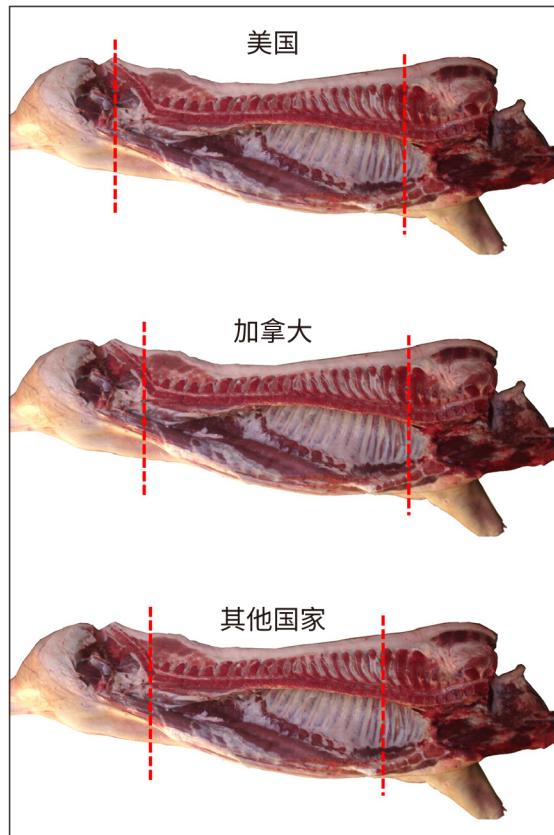


图1.19 胴体分割差异

## 1.3 胴体产量

### 1.3.1 什么是胴体产量？胴体产量重要吗？

胴体产量（有时称为“屠宰率”）经常遭到误解和误用。关键是不能将“初分割产量”和“胴体产量”互换使用，因为二者完全不同。胴体产量是指由一头生猪获得的胴体量，而初分割产量是由胴体获得的初分割肉产量。胴体产量以百分比表示，要计算该值，只需将胴体重除以活重再乘以100（图1.20）。

大多数屠宰厂长期向农场提供胴体产量信息，因此农场通常以为胴体产量对生猪养殖业很重要。然而在许多情况下，胴体产量并不重要，关键在于农场是按活重还是按胴体重计价。

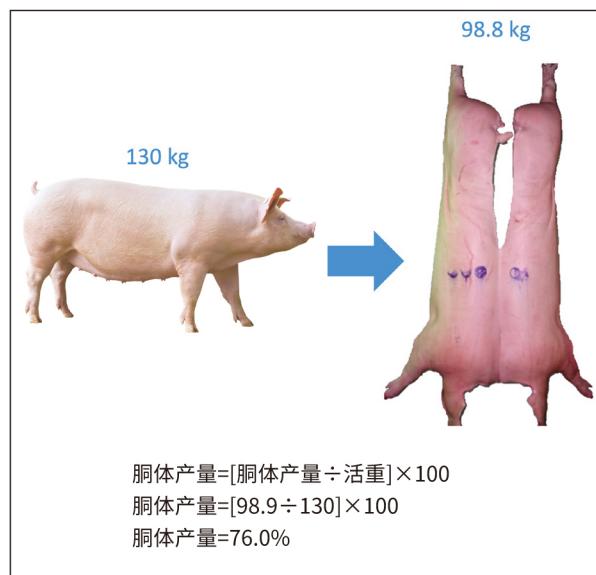


图1.20 胴体产量计算公式

图1.21是按活重和胴体重计价的两种不同场景。在场景1中，活重增加而胴体重不变，导致胴体产量下降。在这种情况下，由于胴体重相同，基于胴体重的价格不变，但基于活重的价格会随着活重的增加而增加。

这意味着按活重计价，屠宰厂要为相同重量的胴体支付更多的费用。在该场景下，屠宰厂处于劣势，因为每公斤胴体的采购成本会随着胴体产量降低而增加。而胴体产量低的农场处于优势，可以用更少的胴体获得更多的收入。

在场景2中，活重不变而胴体重增加，导致胴体产量增加。在该场景下，由于活重相同，基于活重的价格不变，但基于胴体重的价格随着胴体重的增加而增加。因此，当按活重计价时，屠宰厂为更重的胴体（胴体产量更高）支付更少的费用。在该场景下，屠宰厂按活重计价是有优势的，因为如果按胴体计价每公斤胴体的采购成本将增加。胴体产量高的农场则处于劣势，每头猪的胴体重增加时，获得的收益反而减少。

关键是如何按照胴体重进行支付，胴体产量并不重要。换句话说，农场和屠宰厂的收益并不会因为胴体产量变化而变化。并且由于许多因素都会影响胴体产量，这种常见的商业计价方式是最为理想的。

活猪价格 1.19 €/kg	胴体价格 1.50 €/kg	场景1 – 活重增加，胴体重不变。 场景2 – 活重不变，胴体重增加。		
活重	胴体重	胴体产量	价值（活重）	价值（胴体重）
110	88	80.0	€ 130.35	€ 132.00
111	88	79.3	€ 131.54	€ 132.00
112	88	78.6	€ 132.72	€ 132.00
113	88	77.9	€ 133.91	€ 132.00

活重	胴体重	胴体产量	价值（活重）	价值（胴体重）
110	86	78.2	€ 130.35	€ 129.00
110	87	79.1	€ 130.35	€ 130.50
110	88	80.0	€ 130.35	€ 132.00
110	89	80.9	€ 130.35	€ 133.50

图1.21 活重或胴体重对生猪价格的影响

### 1.3.2 影响胴体产量的因素

影响胴体产量的六个主要因素为：

1. 基因/性别/体重
2. 停饲/肠道内容物
3. 营养
4. 称重精度
5. 称重地点
6. 胴体修整程序

#### 基因/性别/体重

猪的基因、性别和体重都会影响胴体产量。图1.22为摘自PIC性能验证项目的数据，说明了不同品种/品系之间的胴体产量差异。皮特兰（PIC408）的胴体产量显然最高，其次是合成系（PIC337）以及汉普夏（PIC327）和杜洛克（PIC800）。

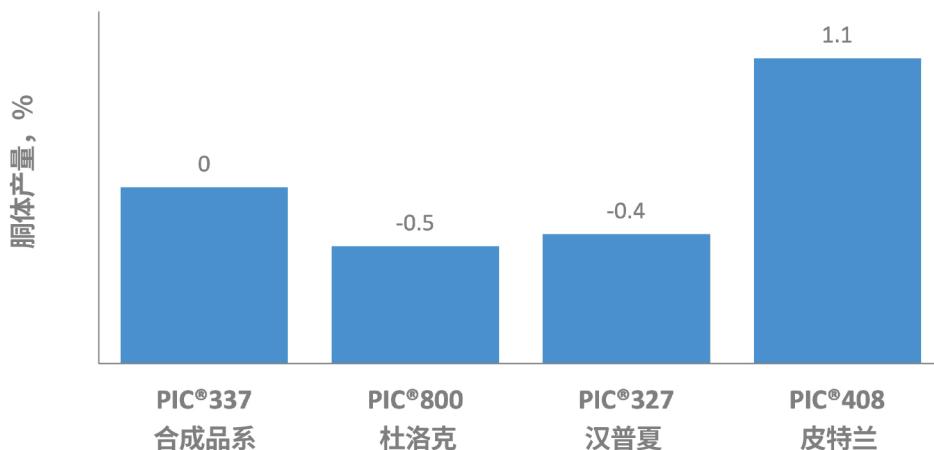


图1.22 基因型对胴体产量的影响\*

\*基于PIC多种产品验证的试验数据。

针对性别影响，表1.5列出的7组不同试验测定的阉猪和后备母猪之间的胴体产量差值。这些试验的结果不同，其中在4组试验中阉猪的胴体产量较高，在其他3组试验中后备母猪的胴体产量较高。总体而言，阉猪的平均胴体产量比后备母猪高出0.10%。在Xue等人（1997）涵盖了15个文献来源的文献综述中，阉猪的胴体产量平均比公猪高出0.92%（生殖器的重量不同是导致该差异的主要原因）。

表1.5 性别对胴体产量的影响

参考文献	阉猪	后备母猪	差值
Xu et al., 2010	77.35	77.38	-0.03
Friesen et al., 1994	72.67	71.92	0.75
Christian et al., 1980	71.61	71.38	0.23
Latorre et al., 2008	78.50	78.40	0.10
Boler et al., 2014	78.72	78.51	0.21
Bertol et al., 2015	79.44	79.55	-0.12
Wagner et al., 1999	74.63	75.10	-0.47
平均值			0.10

图1.23总结了涵盖7个不同来源的测定活重对胴体产量的影响的文献数据。试验中的活重范围为91至182 kg（201至401 lb）。先计算得出每个试验的回归斜率，再利用所有试验的平均斜率生成图中的数据。平均而言，活重每增加1 kg，胴体产量就增加0.04%（活重每增加1 lb，胴体产量就增加0.02%）。

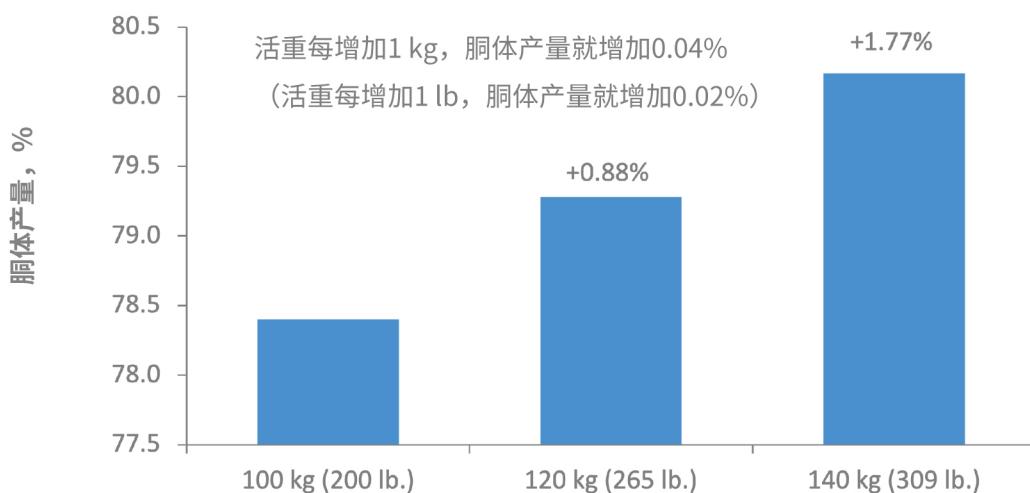


图1.23 活重对胴体产量的影响\*

\*数据源于在7组试验数据的分析（Christian et al., 1980; Latorre et al., 2008; Apple et al., 2009; Virgili et al., 2003; Crome et al., 1996; Bertol et al., 2015; and Wagner et al., 1999），试验中的宰前活重范围为91至182 kg（201至401 lb）。

图1.24说明了性别和活重对胴体产量的交互作用。活重较轻时，后备母猪的胴体产量较阉猪更高。随着活重增加，二者的差异减小，此时阉猪的胴体产量比后备母猪更高或与之相近。这解释了在表1.5中观察到的阉猪和后备母猪之间的数据差异，其中试验采取了不同的上市体重。

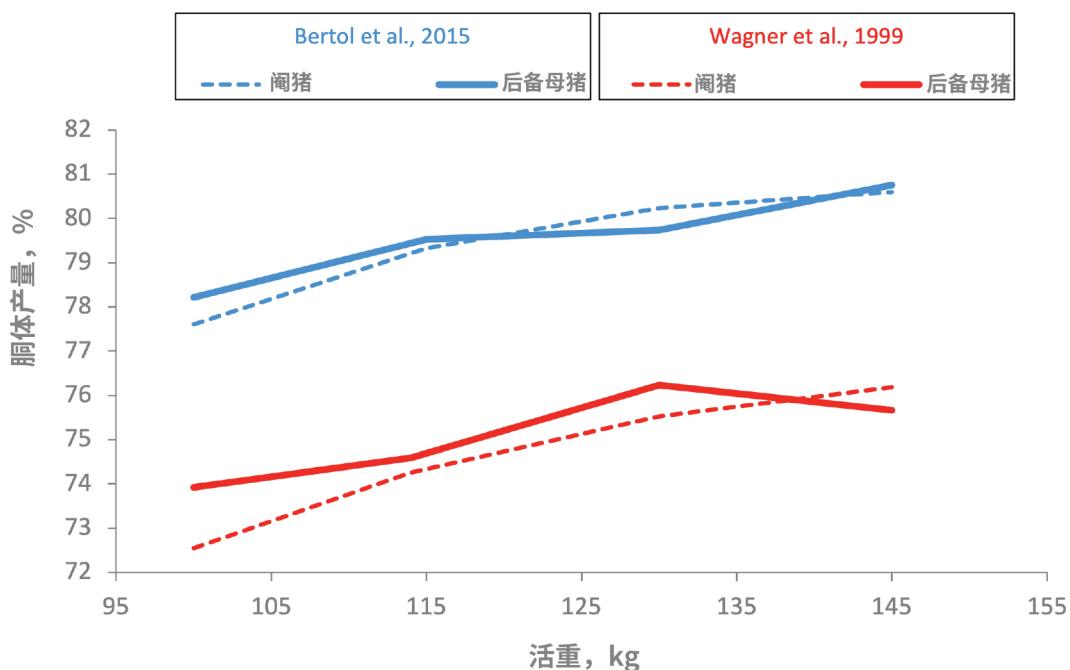


图1.24 活重和性别对胴体产量的联合作用

## 肠道内容物/停饲

活重包含但胴体重不含的主要组成部分是内脏、生殖道、血液、毛发、趾甲和头（如果是去头胴体）。内脏是其中占比最大的组成部分（≈14%）。

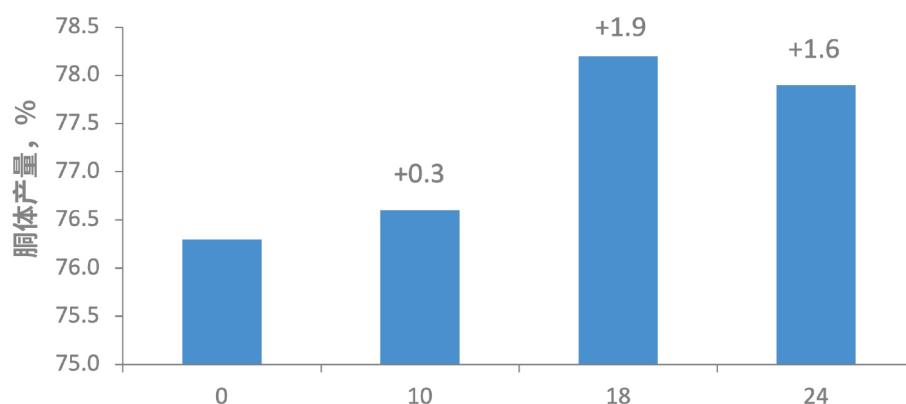
消化道占内脏的很大一部分。消化道的重量受到消化道中饲料和水（内容物）的影响。使用表1.6中的计算来确定内容物对胴体产量的影响，1 kg内容物会使胴体产量降低0.60%（去头产量）或0.64%（不去头产量）。管理肠道内容物是提高胴体产量和减少该性状差异的一个重要因素。

**表1.6 肠道内容物对胴体产量的影响**

项目	去头胴体		有头胴体	
	0kg内容物	1kg内容物	0kg内容物	1kg内容物
活重, kg	125	126	125	126
胴体重, kg	95	95	101.25	101.25
头 (5%) , kg	6.25	6.25	0	0
毛发/血液/趾甲 (6%) , kg	7.5	7.5	7.5	7.5
内脏 (14%) , kg	16.25	17.25	16.25	17.25
胴体产量, %	76.00	75.40	81.00	80.36
<b>1 kg肠道内容物的影响</b>	<b>-0.60</b>			<b>-0.64</b>

有时会在屠宰前停止喂食，以减少肠道内容物。一项大规模商业试验的数据表明，随着停饲小时数的增加，胴体产量也会增加（图1.25）。在停饲10小时内，对胴体产量的影响最小，但停饲18小时使胴体产量增加了近2%。

然而，过度停饲可能会使胴体产量降低。数据显示，停饲18小时和24小时之间的胴体产量差异很小，但停饲24小时和30小时之间的差异明显，这主要是由于胴体可能出现肌肉量损失。

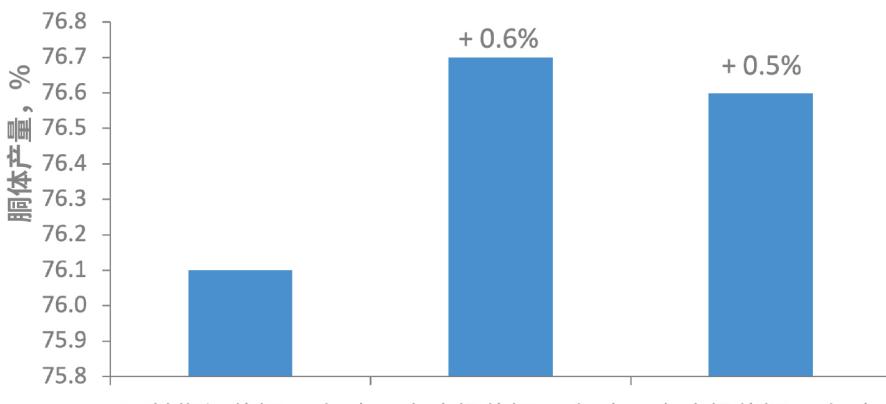


**图1.25 停饲时间对胴体产量的影响\***

停饲时间, h

\*某大规模商业试验的未公布数据。

停饲发生的地点也会影响胴体产量。有一项大规模商业试验评估了停饲14小时的影响，停饲分别发生在猪场、运输期间以及屠宰厂（图 1.26）。



\*某大规模商业试验的未公布数据。总停饲时间为16-17小时。

图1.26 停饲类型对胴体产量的影响\*

与运输期间停饲14小时相比，在猪场或屠宰厂停饲14小时的猪的胴体产量更高（肠道内容物更少）。这些差异可能是由于运输过程中的压力导致肠道代谢停止，不像在屠宰厂能充分休息，恢复正常肠道功能。

以上数据表明，在装车和运输之前需要在一定程度上停饲，以尽量减少肠道内容物，控制胴体产量。PIC建议在装车前让猪至少停饲6至8小时，在运输完毕将猪放入待宰圈后，在致晕前，让猪至少休息2至3小时。理想情况下，总停饲时间（在猪场、运输期间和屠宰厂）应为12至20小时，且不超过24小时。

同时，考虑停饲对猪的负面影响也很重要。除非设施或出栏策略允许单独对商品猪进行停饲，否则整个育肥猪舍和/或猪舍内栏的饲料系统都会关闭，这将导致并不在当天出栏的猪出现断料。

一项在美国开展的大规模商品场试验表明，在猪舍整栋出栏前2周，因为部分猪进行了停饲，可使死亡损失增加0.25%，但其他生长性状不受影响。然而，欧洲的大规模商品场观察表明，在整栋出栏前4周，对部分猪进行停饲对后续的死亡损失没有影响。

观察两个场出栏前的死亡率就能知道为什么会有不同的试验结果。在美国的试验场中，平均死亡损失超过6%，而在欧洲的试验中，平均死亡损失不到2%。这表明留意猪的健康状况以及在猪舍首次开放销售之前留意断料事件很重要，尤其是在整栋出栏之前考虑采取停饲时。

值得注意的是，PIC建议的停饲时间也可以对猪肉品质产生积极影响。这一点将在第3.2.3.2和3.3.2节中展开讨论。

## 营养

营养的许多方面都会影响胴体产量。最常见的高纤维日粮会降低胴体产量。

有许多研究对高纤维成分进行了评估，例如玉米酒糟。研究人员发现，随着日粮中的高纤维成分含量增加，胴体产量持续下降。这种影响在很大程度上归因于喂食高纤维日粮时肠道通过率减慢，导致销售时猪的肠道内容物增加。

同样，PIC研究表明，提高日粮的能量水平（降低纤维含量）将提高胴体产量（图1.27）。其他涉及氨基酸水平的研究表明，通过结晶氨基酸提高日粮中的氨基酸水平可提高胴体产量（图1.28）。提高氨基酸水平对胴体产量的影响与纤维含量的增加有关。由于添加到日粮中的豆粕减少，提高氨基酸水平将导致日粮的纤维含量更高继而导致肠道内容物增加。

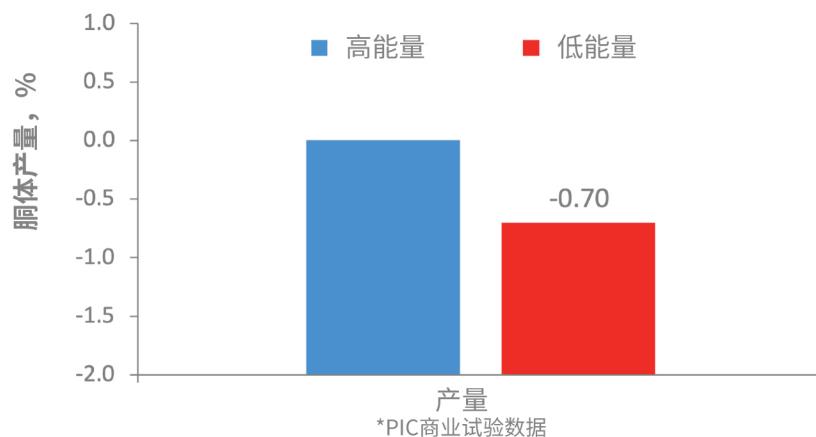


图1.27 日粮能量水平对胴体产量的影响\*

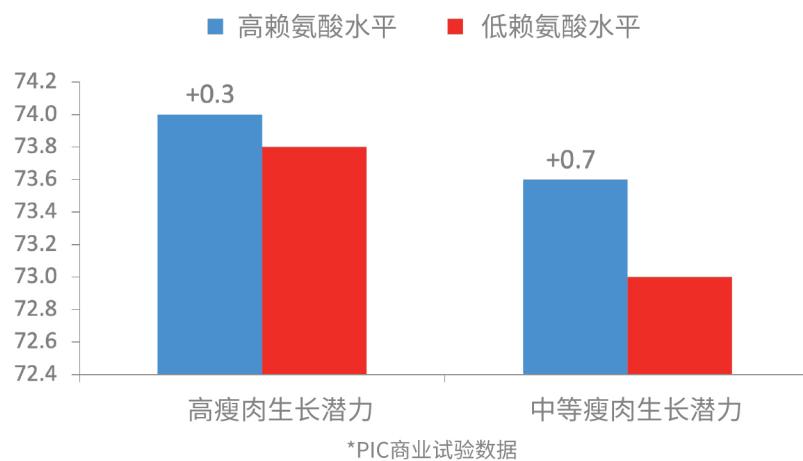


图1.28 赖氨酸水平对胴体产量的影响\*

## 称重精度

称重精度会对胴体产量评估产生很大的影响。如果不经常对秤维护和校准，则称重可能会有误差，导致胴体产量低于或高于预期。

更重要的是，用于计算胴体产量的活重通常以卡车为单位称量，而胴体重则采用的是个体称重。对猪的活重和胴体重进行准确且一致的测量对于衡量和理解胴体产量的商业价值至关重要。

## 称重地点

测量猪活重的地点对胴体产量有很大影响。用在屠宰厂内测得的活重计算得出的胴体产量通常高于在运输前或运输过程中的胴体产量。

这是因为猪在运输过程中体重会下降（“运输损耗”），具体的损耗量可能会有所不同，但通常在1%至2%的范围内。例如，假设猪在猪场重125公斤，到达屠宰厂时重123公斤（1.6%的运输损耗）。如果（含头）胴体重为100公斤，则使用猪场活重计算得出的胴体产量将是80%，使用屠宰厂活重得出的胴体产量将是81.3%。仅因活重的测量地点和时间不同，就会导致胴体产量产生1.3%的差值。

## 修整程序

修整程序会显著影响胴体产量。在大多数国家，头部会保留在胴体上，而在美国，在胴体称重之前，头部会被从胴体上切除。头部占活重的4-5%，因此导致胴体产量产生4-5%的差值。通常有头胴体的胴体产量在79%至81%之间，而无头胴体的胴体产量在74%至76%之间。其他在移除之后会影响胴体产量的身体部位有板油、肾、蹄和皮。

修整过程中过多的修整损耗也会改变胴体重，且可能出于以下原因：

- 隐睾和阉割不全
- 痘气破溃、腹疝等
- 残留毛发
- 需要剥皮
- 虫咬、疾病/潜在健康问题
- 皮损
- 肺粘连
- 内脏不适合食用
- 受伤、割伤、瘀伤、脓肿等。
- 通常由围栏中的尖锐物体（螺栓、门闩、水嘴等）引起
- 骨折
- 咬尾
- 打斗痕迹
- 停饲
- 减少肠道泄露

虽然修整损耗过高会对单个胴体产生很大影响，但如果损耗仅限于单头猪，则可能对整批猪的胴体产量影响并不明显。当整批猪生病或受到某种损害（比如虫咬）时，影响最大。



## 第二节

# 定义肉品品质，取得理想结果的PIC<sup>®</sup>蓝图



肉品品质作为广泛使用的术语，常用于描述许多不同的肉品性状。以下两节将对肉品品质作出定义，并讨论肉品品质对于行业的重要意义。在中国，热鲜肉（屠宰后未经人工冷却过程的肉）占70%以上，冷鲜肉（在低于0°C环境下，将肉中心温度降低到0°C~4°C，而不产生冰结晶的肉）占不足30%。以下内容适用于冷鲜肉，大部分内容（冷却除外）同样也适用于热鲜肉。

品质的一般定义是“形成产品样本差异并影响终端用户评价的所有性状的总和”（Hoffman, 1994）。因此，终端用户会根据自己喜欢的或重视的性状来评判产品的质量。对于猪肉品质，终端用户可以指屠宰场、批发商、零售商，或者最重要的——消费者。

肉品品质可分为五类：

### 1. 卫生和食品安全

- 屠宰、管理和冷链流程当中，那些可以影响猪肉食用安全性的方方面面。

### 2. 营养成分

- 蛋白质、脂肪和碳水化合物成分的各个方面，以及对用户来说该营养组成的健康程度。

### 3. 道德/福利

- 从猪场饲养一直到屠宰场安乐死，整个过程的各个方面。

### 4. 感官

- 形成猪肉实际食用体验的各个方面。

### 5. 技术

- 用于估测猪肉的食用体验或加工性适宜性的各项措施。

在五类中，卫生/食品安全、营养成分和道德/福利作为猪肉品质的衡量标准而言是固定的。换句话说，猪肉的屠宰加工方式必须合乎道德，且必须确保消费者食用安全和营养。

本手册侧重于从感官和技术角度出发介绍猪肉品质，两者决定了猪肉的实际或潜在食用体验。值得注意的是伦理/福利会对感官和技术产生影响，因为福利待遇差会导致猪只应激，从而对猪肉的食用品质产生负面影响。

感官部分需要在产品消费期间（知情或不知情的情况下）进行评测来决定，由这些评测来定义食用体验。科学的评测可由感官评测小组（受过培训）或消费者小组（未经培训）来进行，小组成员主要评估猪肉的嫩度、多汁性、风味和异味情况。这两种评测方式将在手册第3节中作详细讨论。

技术部分由定义或估测猪肉品质的常用指标组成，包括：

- pH值
- 保水性
- 肉色
- 仪器测得的嫩度
- 大理石纹/肌间脂肪（IMF）
- 脂肪品质

猪肉品质的感官和技术可分为两部分，将在以下两节中作进一步讨论。

## 2.1 PIC蓝图

基于目前对基础肉品科学和应用肉品科学基本知识的理解，我们设计了一套可以稳定实现理想肉品品质的体系。《PIC动物福利和猪肉品质蓝图》由PIC于1996年制定，是最早的猪肉品质行业标准之一。

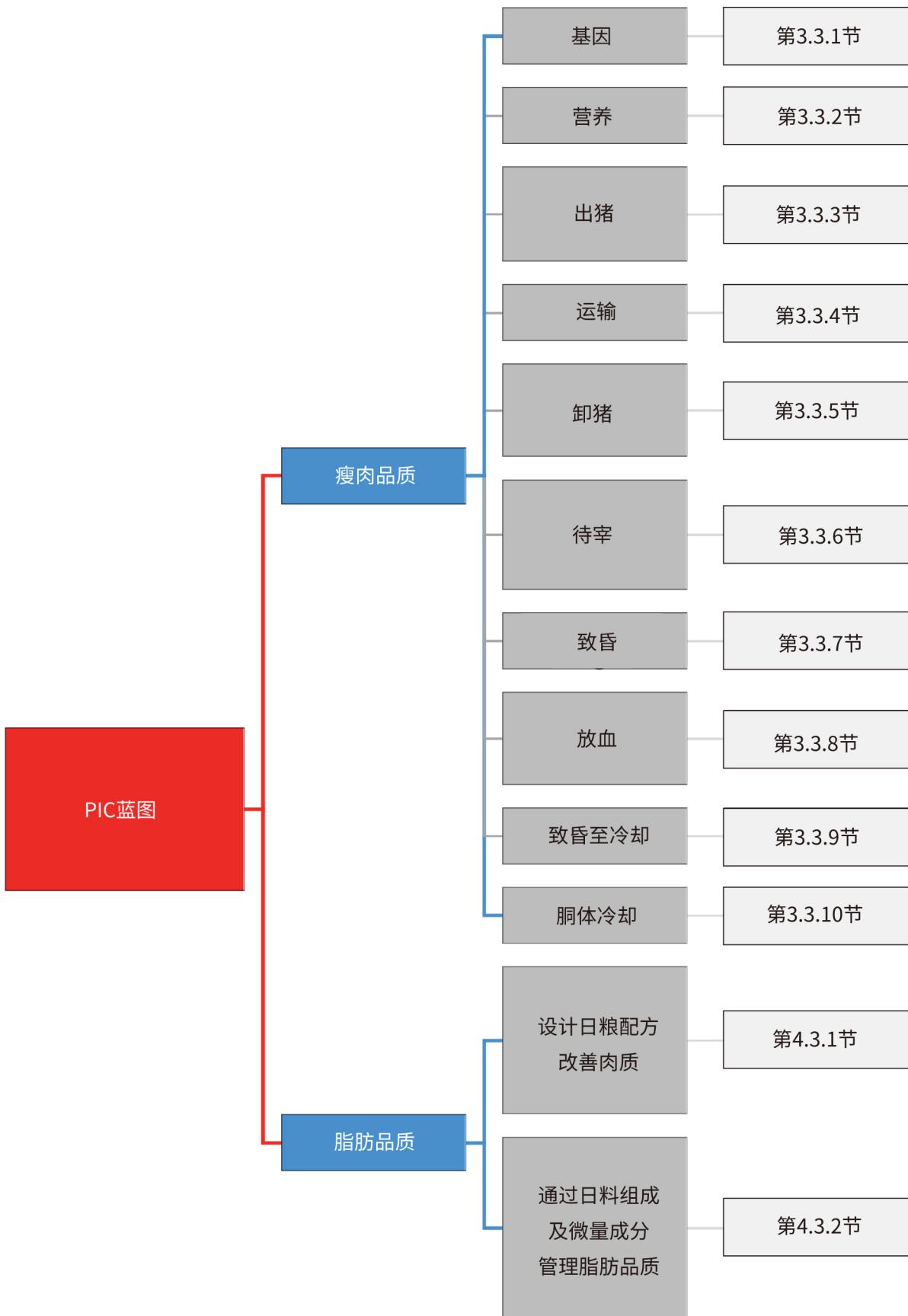
PIC设计蓝图的目的是强调突出那些人道处理和人道屠宰，以提高猪肉品质的操作。PIC积极跟进并贡献新的科学知识，不断对蓝图进行更新。

在管理瘦肉品质（MQ）时，必须关注三个主要因素：糖原储存水平或糖酵解潜力（GP）、应激水平（S）和胴体温度（T）下降速率。肉品品质管理可通过下方等式表达：

$$MQ = GP + S + T$$

PIC蓝图涉及优质肉品生产的10个关键领域，包括遗传学、营养、出猪、运输、屠宰场卸猪、待宰、致昏管理、放血、致昏至冷却管理、胴体冷却。最初的PIC猪肉品质蓝图只涉及瘦肉品质和动物福利，而自二十世纪初以来，脂肪品质变得愈加重要，因此修订后的《PIC猪肉品质蓝图》体现了该性状。

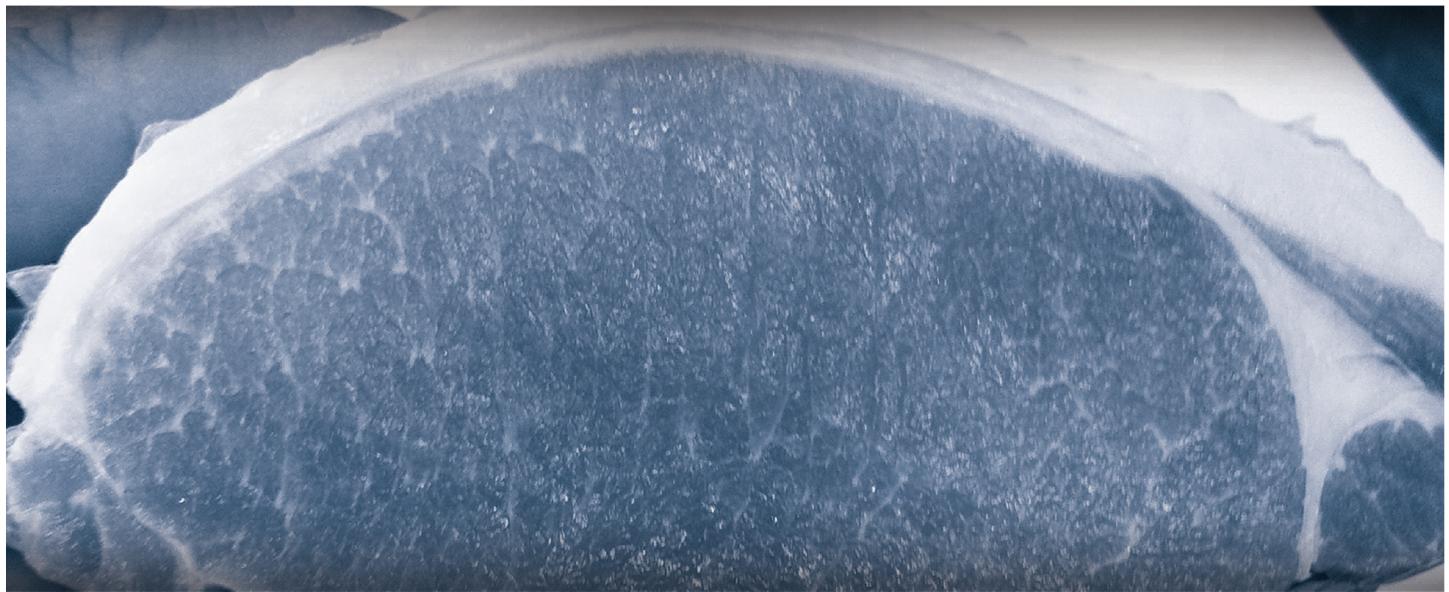
图2.1是《PIC猪肉品质蓝图》的猪瘦肉和脂肪品质纲要。虽然第三和第四节将从生物学角度具体讨论并测量和管理瘦肉和脂肪品质，但以下大纲将可供迅速查阅，帮助找到具体的管理实践。





### 第三节

## 猪瘦肉品质



### 3.1 猪瘦肉品质测定

不同人群对瘦肉（肌肉）品质的定义可能不同。瘦肉品质通常包括猪肉的外观或触感，然而最终的衡量标准还是其食用性（即嫩度、多汁性和风味）。

以下指标可用于衡量或预测瘦肉品质，可能受到下方讨论的几个因素影响。本节将重点介绍这些指标以及评估设备和方法，同时讨论在骨骼肌变为食用肉的过程中影响这些指标的因素，以及如何管理这些生化过程。

### 3.1.1 关键指标

这些指标可以分为两类：1) 估测瘦肉品质的间接测量指标，以及2) 评估瘦肉食用品质的直接测量指标。

#### 间接测量

- pH

- 测量肌肉/肉的酸度。
- 宰后肌肉/肉中形成乳酸，导致pH值降低。
- pH值是客观测量。

- 肉色

- 瘦肌肉/肉的颜色。
- 受肌红蛋白水平和pH值的影响。
- 可以采取主观或客观测量。
- 也可以采取直接测量，因为消费者会根据肉色选择产品。

- 保水性

- 肌肉/肉的保水能力。
- 与肌肉/肉的pH值直接相关。
- 滴水损失和贮藏损失是常用的测量方法。
- 蒸煮损失也受到保水性的影响
- 主要采取客观测量。

- 硬度

- 一块肌肉或一组肌肉群的硬度。
- 初分割或精细分割肉块的硬度受到诸多因素的影响，包括pH值、脂肪含量、温度、重量等。
- 主要采取主观测量。

- 大理石纹/肌间脂肪 (IMF)

- 肌肉内脂肪的水平。
- 与pH值无关。
- 可能受遗传、日粮和性别的影响。
- 可以采取主观测量（大理石纹）或客观测量（分析肌间脂肪/脂质水平）。
- 大理石纹也可以采取直接测量，因为消费者可能会根据大理石纹的品质来选择产品。

- 温度

- 随着肌肉在宰后的最初约24小时变为食用肉，温度下降。
- 温度下降的速率对于调节宰后代谢和pH值下降很重要。
- 采取客观测量。

#### 直接测量

- 剪切力

- 直接测量猪肉嫩度。
- 也与pH值、多汁性和风味有关。
- 采取客观测量。

- 感官分析

- 一组人在一系列受控条件下以标准化评分进行口味测试。
- 分析组可由经过培训或（未经培训的）消费者构成。
- 感官分析在很大程度上是一种主观测量。经过培训的感官分析小组可减少评分时的主观性。

### 3.1.2 猪肉品质测定程序

#### 3.1.2.1 pH测定

许多不同的测定仪均可用于测量肉的pH值。图3.1是世界上常用的一些常见pH计。



MPI pH计

<http://www.meatprobes.com/>



Frontmatec pH\*K21

图片来源:Frontmatec <https://www.frontmatec.com/>



Hanna (哈纳) HI98163

<https://www.hannainst.com/>



Hanna (哈纳) Halo FC2022蓝牙测定仪



<https://www.hannainst.com/>

图3.1 常用pH计



玻璃头探针



非玻璃头探针

图3.2 用于测量肉的pH值的探针式pH计

获得精确可靠的pH测量值的关键较少取决于pH计本身，而更多取决于配合pH计使用的pH探针的质量。重要的是在使用pH计时，要选择专用于测定食品pH值的pH探针。

用于测量肉类pH值的两种最常见的探针采用玻璃头或非玻璃ISFET头（图3.2）。这两种探针均呈矛状，可插入完好的肌肉。从食品安全的角度，ISFET探针更理想，因为它降低了玻璃头碎片污染肉的风险。然而，玻璃头探针更为精确可靠。

使用ISFET探针的主要难点是，该探针的传感器略微内嵌在探针内导致传感器很难与肉正确接触。与玻璃头相比，ISFET探针的反应时间也更长。尽管有这些缺点，但在禁用玻璃头探针的屠宰场中可能有必要使用ISFET探针。

注意：一些pH探针（智能探头）可同时测量pH值和温度。

大多数pH计是为实验室环境设计，因此不适用于屠宰场。然而有些型号被开发为便携防水款，因此非常适合在屠宰场环境中使用。目前有三种基本的手持式pH计：

- 手枪款：

- 专为测量肉类的pH值而设计；可供单手使用。
- 通常更贵，价格在2500美元至5000美元之间（截至2021年）。

- 手持有线款：

- 因pH探针连接在电线上，需要双手操作。
- 低端型号的起售价约为200美元，不含pH探针。根据类型不同，探针的价格从150美元到300美元不等。
- 蓝牙款：可供单手或双手使用（需要智能手机或平板电脑）。

探针就是pH计，只是配备了记录pH值的应用程序。蓝牙探针的价格约为200美元。

选择pH计时的另一个考虑因素是能在收集pH测量值时记录和存储结果，并在以后下载数据。这能使数据收集更容易、精准、灵活，实现在更短时间内获得更多测量值。对于屠宰场的大多数应用场景而言，能同时记录至少500个样本的测定仪较为理想。

选择pH计时还要考虑校准能力。pH计至少应该能够用pH 4.0和7.0的缓冲液进行二点校准。假设不限制使用玻璃头pH探针，我们建议在选择pH计时选用以下规格：

- 使用玻璃头探针。
- 能够手动调节温度。
- 能够记录和下载结果。
- 至少能在pH 4.0和7.0的缓冲液内校准。
- 测量速度< 5秒。

图3.1中显示的所有pH计均符合以上规格。此外，可能还有其他同样有效的pH计。

pH计的校准和存储步骤是获得一致可靠的pH测量值的关键。应在每天开始作业时用新鲜的pH 4.0和7.0缓冲液校准pH探针，并全天使用pH缓冲液重新检查校准。如果校准偏离超过0.05个pH单位，则需进行重新校准。

如果超过两天未使用pH探针，需在校准前将探针在旧校准缓冲液中浸泡30分钟，以防止测量漂移。

校准后和两次测量之间，将pH探针尖端存放在pH校准缓冲液中。将pH探针存放过夜时，应将探针尖端置于储存溶液（4M 氯化钾或类似溶液）或缓冲溶液（pH 4.0或7.0）中。对于较长的储存期，使用储存溶液比缓冲液更可取。

缓冲液应储存在密闭容器中。过度暴露在空气中会使缓冲液变质。每天校准时最好使用小容量的缓冲液容器，每周从原来的缓冲液容器中重新取液装满。

通常情况下，pH值的测量部位为后腿或里脊。后腿pH值最常在半膜肌中测量，里脊pH值在背最长肌中测量。通常认为这两个位置最容易发生pH值水平降低，因此在检测因遗传和/或环境因素引起的pH值变化时能够检测到更极端的情况。里脊和后腿的pH值可以在完整的胴体或初分割肉上收集，这取决于哪种方法在屠宰设施中的效果更好（图3.3和3.4）。完整胴体的里脊pH值应在第10根肋骨和最后一根肋骨之间进行测量，避免测量背最长肌以外的肌肉。

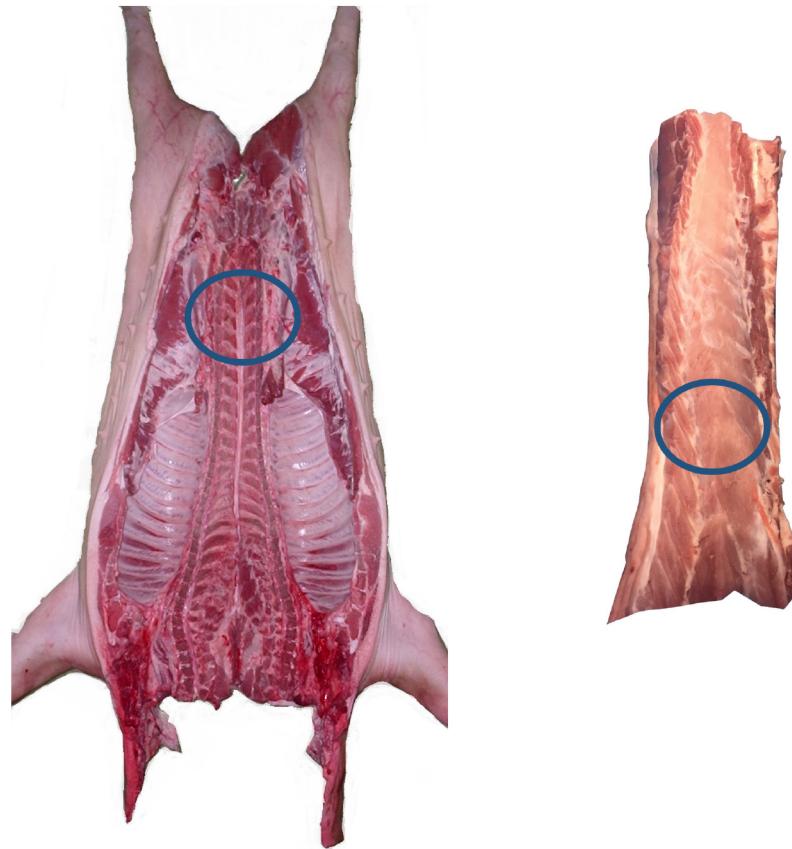


图3.3 里脊pH值测定

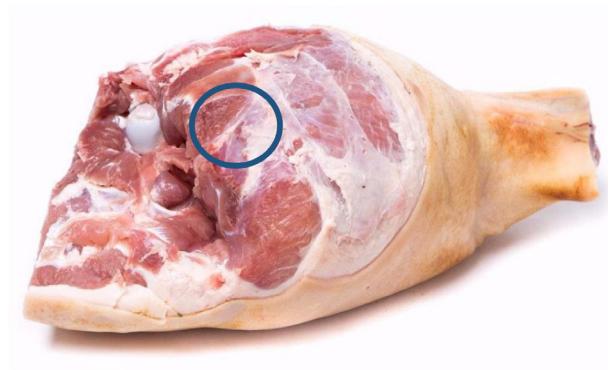


图3.4 后腿pH值测定

### 3.1.2.2 肉色测定

肉色可以采取客观或主观测量。客观测量通常使用色度计，而主观测量则需使用一组既定标准。

#### 客观测量

用仪器测量肉色有四个关键组分，包括色彩空间、光源、观察者角度和测量孔径尺寸。通常，肉类行业仅使用两种色彩空间：国际照明委员会（CIE） $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 值，或Hunter L、a、b值。这些三维的色彩空间利用L、a和b值评估猪肉的颜色（图3.5）。

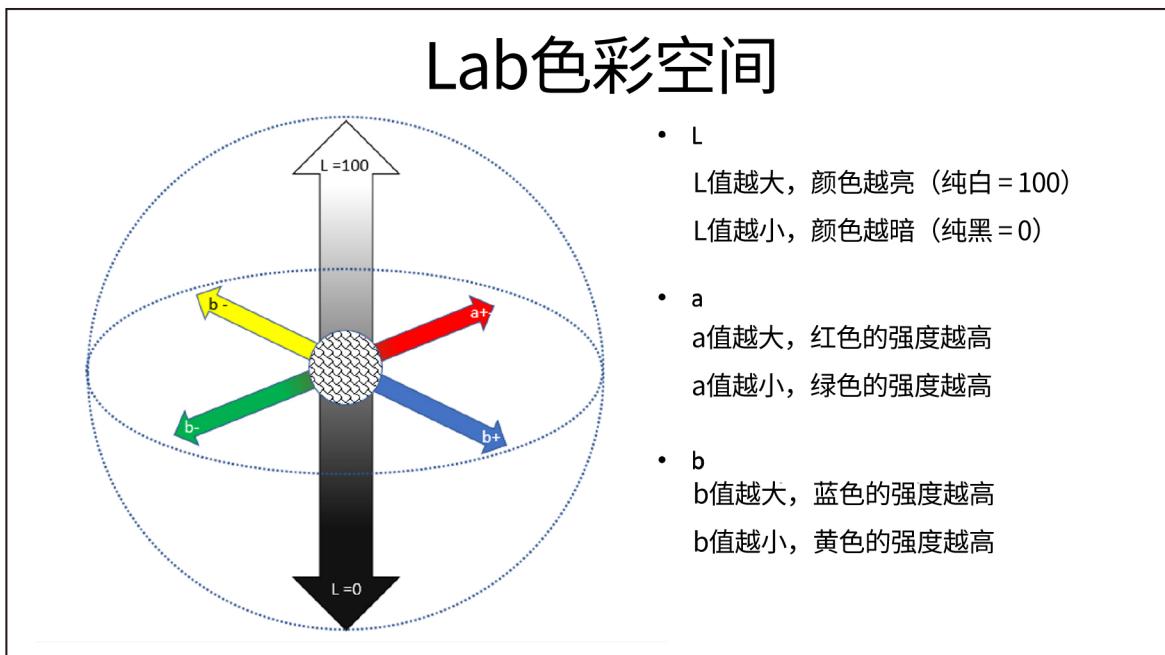


图3.5 Lab色彩空间

$L^*$ 值代表亮度/暗度（从白色到黑色），数值越低（颜色越深），猪肉越受欢迎。 $a^*$ 值代表红色度（从红色到绿色），数值越高（越红），猪肉越受欢迎。 $b^*$ 值代表黄色度（从黄色到蓝色），数值越低（黄色成分越少），猪肉越受欢迎。 $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 值取决于使用的光源和观测角度。

通常情况下，测量肉色时使用C或D65光源，尽管在某些情况下也可以使用A光源。C光源代表平均日光，不包括紫外线波长区域。D65光源代表平均日光，包括紫外线波长区域。A光源代表白炽灯。

观测角度是仪器测量肉色的一个组成部分，基本上对人类视场进行了标准化。在测量肉色时，将 $2^\circ$ 或 $10^\circ$ 观察角度与 $10^\circ$ 观察角度配合使用，由此获得更大视场。

测量孔径的尺寸是肉色测量时需要考虑的最后一个组成部分。孔径尺寸是指圆形测量区域的直径，最常用的是8mm和40mm孔径。

虽然可以用仪器在胴体的任何部位测量肉色，但大多数情况下取里脊和/或后腿上的测量值。在里脊处，可在里脊横截面或腰肋面进行测量（图3.6）。

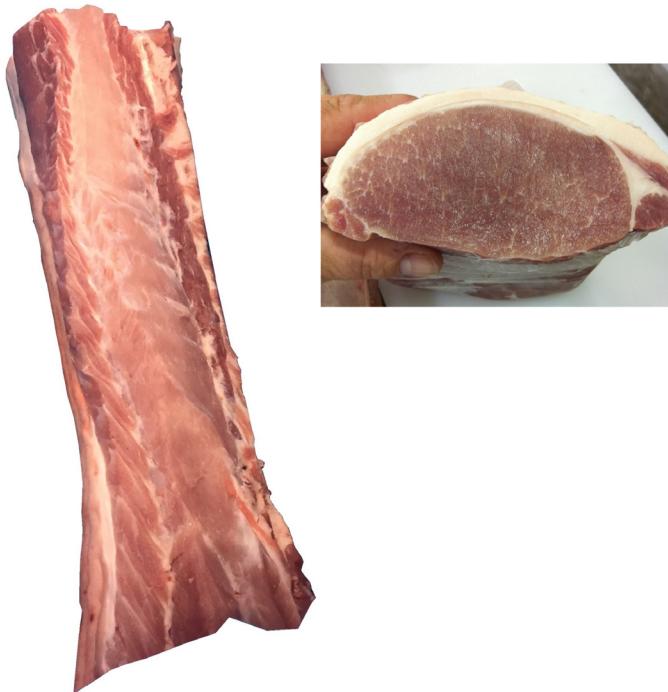


图3.6 里脊肉色测量位置

在后腿，通常在内侧半膜肌或“后腿内侧”（图3.7）上进行测量，但有时也可切开后腿面，在臀中肌上进行测量。经常是测量瘦肉与骨头分离处的去骨后腿肌肉内部，因为此处会由于冷却不良而肉色较浅（图3.7）。



图3.7 后腿颜色测量位置（内侧半膜肌和内腿肉）

测量时，确保颜色读数对准瘦肉组织而非脂肪组织很重要。大理石花纹程度高会导致读数不太理想，因为颜色测量很难避免脂肪组织的影响。

对于客观颜色测量，最常用的工具有Minolta CR-400（或CR-410）色度计和Hunter Lab Miniscan测色仪。这些工具的价格通常在5000美元至10000美元之间（截至2021年）。许多新的、更廉价的仪器正在测试中，将实现肉色客观测量的广泛使用。测色设备Color Muse和Nix的价格仅为几百美元，但它们在色彩空间、光源和/或观测角度方面存在一些限制，通常还需要搭配智能手机或平板电脑才能使用。尽管这些设备较为便宜，但需进一步评估才能确定它们是否具有商业应用所需的精度。

### 主观测量

主观肉色测量基于一套标准，要求分级员通过将样本与标准比色卡比对确定肉色。最常用的两项标准是日本肉色标准和美国国家猪肉委员会（NPB）标准。日本肉色评分系统主要为商业环境设计，用于向日本出口猪肉的屠宰场（图3.8）。根据该标准，对肉色按1（浅色）至6（深色）分评分，以1个单位为增量。

当肉色介于两个标准之间时，给半分。日本肉色标准可登录[http://hamukumi.lin.gr.jp/color\\_standard.html](http://hamukumi.lin.gr.jp/color_standard.html)在线购买。（注：如果在日本没有相关方的帮助，该肉色标准可能很难买到。）

NPB制定的猪肉品质标准（图3.8）包括肉色标准。这些标准可登录<http://egashops.directedje.com/PorkStoreProducer/product-details.asp?ID=92&CID=39&P=1>在线购买。NPB标准与日本肉色标准类似，也对肉色按1（浅色）至6（深色）分评分。然而，两项标准的评分不可互换，NPB的肉色标准主要在学术界使用。

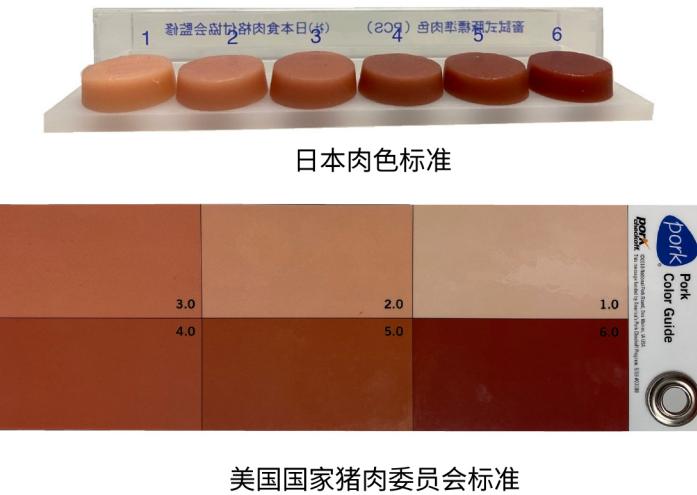


图3.8 主观肉色测量评分法

主观肉色评分标准通常用于对里脊肉色进行评分，但在评估瘦肉颜色时也可用于其他初分割部位的肉色。与客观肉色测量一样，里脊的肉色测量既可在横截面上进行，也可在里脊的肋面上进行。在进行主观肉色评分时，在光线充足的区域进行评分至关重要，因为光线会影响对颜色的感知。此外，由两人组成的小组可以提高主观肉色评分过程的稳定性。两位受过训练的评级员给出的分数应相差不超过 $\frac{1}{2}$ 个单位。

胴体被切割后将经历发色期，此时氧气与暴露的肌肉组织发生作用，导致肉色变化。因此，在测量肉色时保证发红时长一致或等到发红期结束再测量很重要。

大多数研究表明L\*值不受发红期的影响，但a\*和b\*值可能会在切割后10至18分钟内受到发红期的影响。请记住，在进行客观或主观肉色评分时要注意肌间脂肪。肉色测量的目标是仅对瘦肉组织进行颜色评分。

### 3.1.2.3 保水性测定

保水性反映了肉类保持液体的能力。从商业角度来看，除重力外，在没有任何外力的情况下，保水性通常以滴水损失或贮藏损失的形式测定。通常以滴水损失测量值表示精分割零售肉（即肉块）中损失的液体量，以贮藏损失测量值表示真空包装的初分割肉（如整块去骨里脊）中损失的液体量。

测量滴水/贮藏损失的基本方法是先将样本称重，在商业条件下储存预定时间后再次称重，确定重量损失，然后将重量损失换算为初始重量的百分比： $\% \text{ 滴水损失} = [(\text{初始重量} - \text{最终重量}) / \text{初始重量}] \times 100$ 。

可通过多种方式测量滴水损失，但关键是要遵循一些基本准则以确保精度。首先，样本的尺寸应保持一致，因为表面积的大小会影响液体的流失量。为此，可直接从肉块上切下长宽高为25 mm (1 inch) 的方块样本，或者先切下25 mm (1 inch) 厚的肉块，再用取芯装置从肉块上取直径为 25 mm (1 inch) 的样芯。

在切肉时，重要的是不在肉块末端取样，因为一旦肉块表面暴露，液体就会流失。为了克服这个问题，可从末端切一段25 mm (1 inch) 厚的肉，然后用下一段25 mm (1 inch) 厚的肉作为滴水损失的样本。

所有测定滴水损失的样本都必须彻底剔除外层脂肪和结缔组织，然后将样本密封，使其不接触外部因素。悬浮样本，让损失的液体与样本分离。这一步可以通过不同方法实现，最常见的包括“鱼钩”法和EZ滴管法（图3.9）。



图3.9 EZ滴漏管和取芯装置

鱼钩法是指将样本挂在悬空的鱼钩或类似装置上，再用塑料袋密封样本。注意确保塑料袋不与样本接触。

丹麦肉类研究所（EZ）滴管法（<https://www.dti.dk/specialists/ez-driploss-equipment/35497>）是指用滴管将样本悬置于沥水口上方，使损失的液体与样本分离。

样本应在冷藏条件下（1至5°C或34至41°F）储存预定时间（通常为24或48小时）。保持储存时长和温度一致很关键，因为当时间和温度增加，滴水损失会呈非线性增加。

最后，选用可以准确测量滴水损失的天平。上述大小的样本重量通常在10至20 g之间，因此天平精确到毫克最为合适。

贮藏损失可用任何真空包装的初分割肉或精分割肉块进行测量，不过通常用的是去骨里脊。贮藏损失表示从里脊肉在屠宰场完成包装到打开包装后被切分为肉块或消费者打开包装，这一过程的液体损失。由于此过程持续的时间更长，因此通常测定贮藏损失的时间最少为7天，若要模拟出口到亚洲的生鲜产品最多可长达28天。与测定滴水损失一样，样本应储存在冷藏条件下，以模拟产品在商业条件下经历的正常流程。

为测定贮藏损失，需在包装前称量里脊重量（如已知包装袋重量，也可用包装后的总重减去包装袋的重量）。在规定的储存期后，从袋中取出里脊。用纸巾轻轻吸干水分，去除肉块表面多余的液体，然后对肉再次称重。对于一般的里脊肉重，需要称重上限为10 kg（精确到g）的秤才能获得准确的测量值。

### 3.1.2.4 硬度测定

NPB制定了评估猪肉硬度的标准。该计分系统一般用于肉块切面，采用3分评分法：

1 = 软；切割面看起来很软，表面看起来变形，且无法保持其形状。

2 = 硬；切割面几乎没有变形且保持其形状。

3 = 非常硬；切割面非常光滑，没有变形。

该系统在出于研究或质量保障目的评估切肉硬度时很有效。然而，在商业环境中，通常很难用这种评分系统评估，因为这会降低该里脊的市场价值。

因此，已将NPB方法调整为5分评价系统，用于整块去骨里脊的商业评估。5分评价法与3分评价法非常相似，但其中一些对整块里脊的评估方法采取5分制，而非3分制。



对里脊的外脊部分用NPB系统进行评估，但需要更关注整块外脊保持形状的能力以及折叠的难易程度（图3.10），由此确定整体的硬度分数。

该5分评分系统包括：

- 1 = 非常软；外脊几乎可以毫不费力地对折，且无法保持形状。
- 2 = 软；外脊可轻松折叠并松散地保持形状。
- 3 = 硬；外脊可在轻微阻力下折叠并保持形状。
- 4 = 中硬；外脊可在中等阻力下折叠，不会完全自然打开。有一种紧实的感觉，能很好地保持形状。
- 5 = 非常硬；外脊不易折叠，不会完全自然打开。有一种非常紧实的感觉，能非常好地保持形状。

图3.10 硬度测定

### 3.1.2.5 大理石纹/肌内脂肪测定

大理石纹和肌内脂肪（IMF）这两个术语经常互换使用。就本文件而言，大理石纹是基于一组标准的主观测量，而IMF是使用化学或机械方法的客观测量。测量IMF的成本更高，因为它对最终产品具有破坏性，且化学分析会产生额外成本。测量IMF也更耗时，因为必须采集样本、正确准备和分析样本。

NPB制定的大理石纹标准（图3.11）（<https://egashops.directedje.com/PorkStoreProducer/product-details.asp?ID=92&CID=39&P=1>），这个标准从1分（几乎没有大理石纹）到10分（有非常丰富的大理石纹）评分，每个分数大致相当于IMF的百分比（即大理石纹3分等于3% IMF）。



图3.11 美国国家猪肉委员会大理石花纹标准

大理石纹通常在里脊上测量，但世界上某些地区也会在后腿上测量。在理想情况下，里脊大理石纹是在里脊切块表面测定。然而，在大多数商业情况下，测定里脊大理石纹则是在里脊的肋骨（腹侧）表面进行，因为除非从中截断里脊，否则切面不会暴露。虽然主观肉色评分需要充足的光线，但有时需要在背光处进行大理石花纹评分，便于更好地区分脂肪和瘦肉的颜色。

传统上，商业和大学实验室均使用湿化学法测量肌间脂肪。近年来，近红外（NIR）技术在测量IMF方面越来越普及。NIR方法采用碎猪肉而非整块肉，通常更精确，但更耗时。

请注意，这些方法测定的是肉品中脂质的百分比，而非实际的IMF含量。IMF包括脂质、蛋白质和水。因此，IMF的化学法和NIR法测定结果通常低于大理石花纹的主观评分，除非在确定脂质百分比后针对蛋白质和水的含量进行校正。

样本大小取决于是使用化学法还是NIR法，这通常由进行分析的实验室决定。采集样本时，重要的是完全剔除样本中的肌间脂肪或皮下脂肪，因为这些脂肪会导致IMF含量虚高。

### 3.1.2.6 温度测定

温度是最简单的胴体测量之一，可在胴体的任何部位进行。由于温度下降的速率会对猪肉品质产生直接影响，因此测量可能受到温度下降不良影响的胴体部位的温度非常重要，这些部位包括前腿、后腿和腰部。

可使用普通肉类温度计在宰后的标准时间点进行温度测量。借助温度数据记录器，还可在整个冷却过程中以预定的时间间隔测温。

在特定的时间点测温时，标准肉类温度计的探头长度至少为100 mm（4 inch）且测量值能精确至0.1°C（0.2°F）。在测量温度下降曲线时，数据记录器必须防水以适应冷却过程中的条件，每隔5分钟测温一次。肉类温度计和数据记录仪均必须使用长度至少为100 mm（4 inch）且测量值能精确至0.1°C（0.2°F）的探头。

理想情况下，数据记录器应配备多个数据端口，便于在多个初分割部位处测量温度下降曲线，以及在冷却期间测量环境温度。ONSET公司生产的Hobo 4通道模拟数据记录器MX1105 (<https://www.onsetcomp.com/products/data-loggers/mx1105>) 最多可安装4个传感器，包括环境传感器（SD-TEMP-01）和温度探头传感器（SD-TEMP-SS-06），二者可有效测量温度下降曲线。数据记录器单元可置于干燥的袋中，在测量过程中用于防潮。

### 3.1.2.7 嫩度和感官测定

客观评价猪肉食用品质的黄金标准是通过仪器嫩度测量和感官分析直接测评。客观嫩度是使用Warner-Bratzler剪切力或切片剪切力确定的，而感官分析则由经过培训或未经培训的小组成员评估猪肉的食用品质。

美国内肉类科学协会（AMSA）收集了感官和客观嫩度测量的详细方法（<https://meatscience.org/docs/default-source/publications-resources/amsa-sensory-and-tenderness-evaluation-guidelines/research-guide/2015-amsa-sensory-guidelines-1-0.pdf?sfvrsn=6>）。虽然AMSA的这份文件详细讨论了这些方法，但无论是哪一类感官小组或嫩度分析，一些基本准则都适用。

样本选择是关键。里脊（背最长肌）用于大多数的猪肉感官和嫩度分析，但也经常使用后腿半膜肌。无论使用哪种肌肉，保持一致性很重要，即从肌肉的同一部位取样。取样后，在分析前需将样本在正常冷藏条件下储存5至14天（成熟期）。理想情况下，产品在烹饪前应是冷鲜而非冷冻状态，因为冷冻猪肉的剪切力值较低（肉质更嫩）。冷冻猪肉的剪切力值无法与冷鲜猪肉的剪切力值相比。

将肉块切成标准厚度。通常，烹饪用的肉块为2.54 cm（1 inch）厚，并在2至5°C（36至41°F）下冷藏。由于最终的烹饪温度会影响嫩度和感官体验，因此需密切关注肉块情况，避免过熟或不熟。通常，这是通过将热电偶插入肉块的几何中心测温并使用某种数据记录器进行监测来实现的。

烹饪方式可能会各有不同，但常用合瓣式烤架，因为这种烤架可以均匀烹饪肉块两面，且价格便宜。其他烹饪方式包括平炉烤架、履带式烤炉（即比萨烤炉）和真空低温烹调法。烹饪完成后，嫩度和感官分析将采取不同流程，因此将分开讨论。

Warner-Bratzler剪切力是世界范围内最常见的客观嫩度分析指标。可以购买Warner-Bratzler刀片附件（图3.12）并与Instron或类似的测试设备一起使用。剪切力仪（图3.12）和刀片附件以及切片剪床、取芯和其他感官测试设备可从Tall Grass Solutions, Inc. (<https://www.tallgrassproducts.com/home>) 购买。

剪切力测试的前提是基于Warner-Bratzler刀片垂直于肌纤维方向切穿直径1.25厘米（1/2英寸）样芯所需的力（kg或N）。烹饪后，将烹饪后的样本冷藏过夜，使样本中心的温度与肉块的温度一致。至少在取芯之前让肉块达到室温。在取芯之前，对肉块切边，帮助确定肌纤维的方向，因为样芯必须与肌纤维平行。用1.25 cm（1/2 inch）的取芯装置钻切肉样。从肉块中取出至少4个样芯进行剪切力测试。

取好样芯后，就可以用Warner-Bratzler刀片以225 ± 25mm/min的十字头速度进行剪切。小心地在样芯中心进行垂直剪切。最终的剪切力值是取肉块各个样芯读数的平均值。



图3.12 Warner-Bratzler剪切力仪和刀片

如前所述，感官分析可以使用经过培训或未经培训的（消费者）小组进行评估。经过培训的感官小组应始终以一致的标准检测各种特征的差异。尽管经过培训的小组可以检测到差异，但普通消费者可能不会注意到这些差异。而消费者小组有助于确定经过培训的小组检测出的差异对于普通消费者是否有价值。

感官性状通常包含多汁性、嫩度、风味和异味。感官评分通常使用某种类型的线性量表，其中数值较小代表越不理想，数值越大代表越理想。在一些消费者小组中，可能会根据喜好量表，按照喜爱或偏好程度对样本进行评分。

在烹饪后，从肉块上为小组成员切下样本，样本应为 $1.25\text{ cm} \times 1.25\text{ cm} \times 2.5\text{ cm}$ 厚。确保样本保温，直到样本递给小组成员。

每个小组成员通常在红光条件下对样本进行评分，避免因样本颜色或熟度造成任何评分偏差。在测评每份样本之间，小组成员应该用水和无盐饼干清洁味蕾。取小组成员评分的平均值用于计算每个肉块的总分。

与任何测试一样，在标准化条件下进行感官测试很重要，以便在批次/样本组之间或在标准化情况下将测试结果进行直接对照。

## 3.2 影响瘦肉品质的因素

### 3.2.1 肌肉转化为肉

骨骼肌（图3.13）是由成百上千的肌细胞或肌纤维排列成束后经结缔组织包裹形成。每块肌肉外都包裹着的一层结缔组织组织鞘被称为肌外膜。筋膜是肌外膜外包围和分隔肌肉的结缔组织。

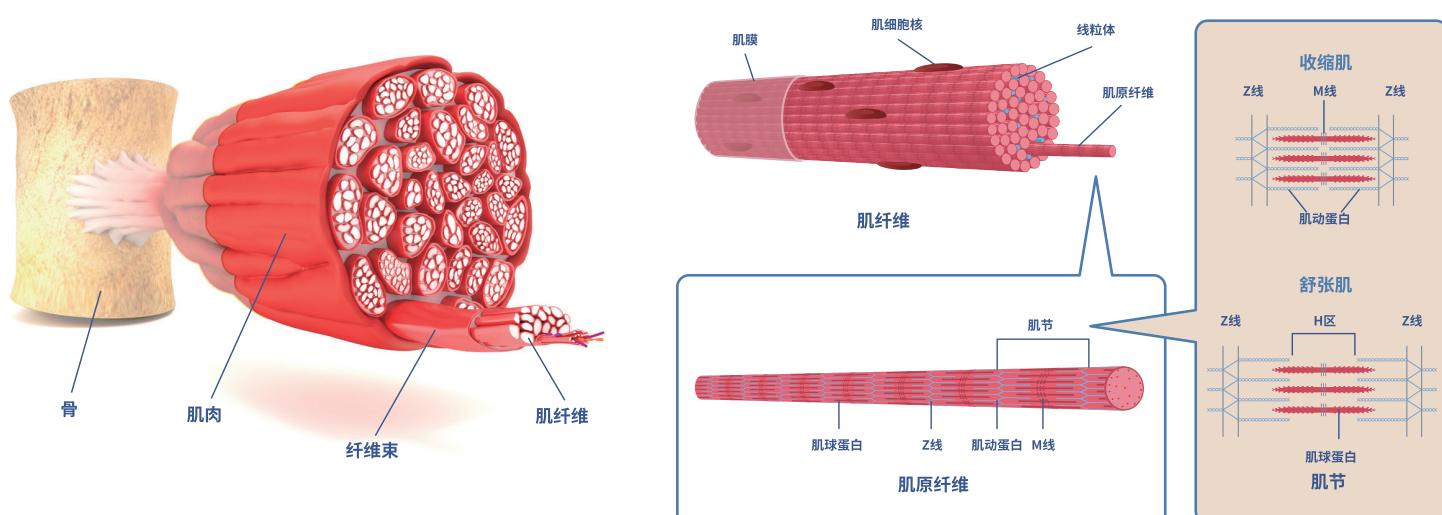


图3.13 肌肉结构分解

在显微镜下观察时，每个肌肉细胞都有鲜明的分区。这些分区被称为肌节，由肌动蛋白和肌球蛋白以及几种相关的“辅助”蛋白组成。肌球蛋白是许多单个肌球蛋白分子的尾部交织而成，肌球蛋白分子的头部伸出杆体，与肌动蛋白丝连接形成横桥，实现肌肉收缩和舒张周期。

骨骼肌是一种复杂的组织，由复杂的生理条件共同影响。神经、循环、呼吸和内分泌系统对于供氧和供能、调节pH值和温度、维持肌肉的动态平衡都至关重要。

猪被屠宰后，这些系统失去维持内环境稳定的能力，活的肌肉逐渐转化为肉。宰后代谢会持续一段有限的时间，直到能量基质和代谢物被耗尽，或者受温度调控的反应停止发生。

### 3.2.1.1 能量代谢

肌肉需消耗被称为三磷酸腺苷 (ATP) 的能量进行工作 (收缩活动) 以及保持钙 ( $\text{Ca}^{2+}$ ) 稳态。

ATP由葡萄糖 (或葡萄糖前体) 在有氧或无氧条件下通过糖酵解形成。在有氧条件下 (每个葡萄糖分子产生38个ATP) 比在无氧条件下 (每个葡萄糖分子产生2个ATP) 生成ATP更有效。

当分泌应激激素 (主要是肾上腺素和皮质醇) 时，就会发生无氧代谢。任何引起“战斗或逃跑”反应的应激源均可刺激这些激素开始分泌，转而通过维持内环境稳定，为动物的生存提供能量。

无氧代谢会产生2个ATP和2个丙酮酸。当动物活着时，丙酮酸转化为乳酸，乳酸从肌肉转移到肝脏，再转化回葡萄糖。随着战斗或逃跑反应消退，葡萄糖可返回肌肉用于产生能量 (科里循环或乳酸循环)。

屠宰/放血时，肌细胞失血，因此失去氧气和养分供应以及调节温度的能力。缺氧导致无氧代谢。

无氧代谢过程中丙酮酸增加，使得肌肉中的乳酸增加，肌肉pH值下降。pH值下降的速度和程度取决于应激导致的宰前肌肉乳酸堆积量、肌细胞中用于宰后糖酵解 (糖原) 的能量储存以及宰后温度。

### 3.2.1.2 僵直及相关条件

能量代谢停止时肌肉开始向肉转化，僵直是这一过程中的关键物理特征。僵直是实现骨骼肌收缩的两个关键结构部件 (肌动蛋白和肌球蛋白) 结合 (形成肌动球蛋白横桥) 时肌肉失去延展性的情况。

僵直的发展过程分为僵直迟滞期、僵直期和僵直后期三个阶段。在僵直迟滞期，ATP水平相对稳定，肌肉柔软、有弹性且可延展。磷酸肌酸 (CP) 是该阶段的重要组成部分，因为它是在无氧条件下二磷酸腺苷 (ADP) 转化为肌肉收缩所需的ATP的必要成分。如果有CP维持ATP水平，即使没有氧气，肌肉也可以一直处于僵直前期。

在CP耗尽后不久，ATP水平将开始下降，进入僵直期阶段。在僵直期，肌肉失去弹性且无法延展。ATP水平下降，导致 $\text{Ca}^{2+}$ 溢出，使得肌动蛋白和肌球蛋白形成肌动球蛋白横桥。该阶段一直持续到肌肉ATP耗尽至低于1 um/g，由于缺乏破坏横桥所需的ATP，肌动球蛋白横桥永久形成。

此时，肌肉处于僵直过程的最后阶段。僵直过程中形成的肌动球蛋白桥与正常的肌肉收缩和舒张周期中形成的肌动球蛋白桥相同。然而，在肌肉正常收缩时，仅用到约20%可能的结合位点，而在僵直阶段，几乎使用了所有的结合位点。

猪肉通常会在宰后15分钟至3小时内开始出现僵直，大部分肌肉会在宰后10小时进入僵直阶段。由于僵直过程涉及部分肌肉收缩（僵直收缩），这会直接影响肉的嫩度。

在以下有关僵直的条件下可能出现：

冷收缩：

肌肉在完全僵直之前冷却至 $< 7^{\circ}\text{C} (< 45^{\circ}\text{F})$ 且肌肉pH值高于6.30时，可能会出现冷收缩。由于未完全僵直，肌肉中仍存在ATP供应，ATP通常通过调节肌原纤维中的 $\text{Ca}^{2+}$ 浓度来控制肌肉收缩和舒张。然而在寒冷条件下，由于 $\text{Ca}^{2+}$ 过量和ATP残留， $\text{Ca}^{2+}$ 浓度变得不受调节，导致肌肉严重收缩以致肌肉缩短。在该过程中，由于ATP在肌肉收缩过程中耗尽，肌动球蛋白横桥永久形成。

因为宰后pH值会迅速下降，冷收缩对于猪肉通常不是问题。僵直通常在pH值低于6.00时且在肌肉达到低温度之前完成。例外情况可能是在热胴体时去骨的肉，因为其肌肉冷却速度更快。

电刺激可用于快速降低牛羊肉的肌肉pH值以改善肌肉嫩度。然而，电刺激不能用于猪肉，因为乳酸产量增加会导致pH值下降速度加快，从而损坏肉品品质。

解冻僵直：

肉在僵直前期被切割和冷冻后，会出现解冻僵直。一旦这些肌肉解冻，残留的ATP和 $\text{Ca}^{2+}$ 会导致肌肉收缩并缩短最高60%（以牛羊肉为例）。这种收缩会导致大量水分流失且导致肌肉严重变硬。

与冷收缩一样，猪肉很少出现解冻僵直，因为僵直过程通常在肌肉被从胴体上剖下并进入冷冻之前完成。如果猪肉的确出现解冻僵直，则缩短率远低于60%，因为骨骼结构通常会限制肌肉收缩。

### 3.2.1.3 肌纤维类型

肌肉由I型（红色/氧化）、II型（混合、氧化-糖酵解IIa和IIx）和IIb型（白色/糖酵解）纤维组成。这些纤维类型的主要性状见表3.1。

表3.1 肌纤维类型的性状

性状	I型	IIb型	IIa型
肉色	红色	白色	中等
代谢	有氧	无氧	有氧+无氧
脂肪酸水平	高	低	中等
糖原含量	低	高	中等
收缩速度	慢	快	快
肌红蛋白含量	高	低	中等

\* 表格改编自 Lonergan et al., 2019

肌肉通常由三种类型的纤维组成,但这些纤维的比例取决于动物的种类、遗传或肌肉的位置。对猪而言,连续工作的肌肉(例如运动或横膈膜)往往具有较高比例的I型纤维。这些肌肉呈深红色,例如肩部的背脊肌和后腿的股四头肌。腰肌以及后腿的部分肌肉会含有更高比例的II型纤维。

IIb型纤维比例较高的肌肉出现低品质的风险较高。这是由于无氧代谢可能增加,导致乳酸水平升高。内部温度高于30°C(90°F)时,肌肉的pH值会降低,导致肉色变浅、保水性下降。

## 3.2.2 肉品品质形成

### 3.2.2.1 保水性

保水性是肉保持水分的能力。该指标对新鲜猪肉和加工猪肉的品质而言都很重要。一般来说,保水性低的新鲜猪肉食用品质较差。保水性低的加工肉制品价值较低,因为其保持水分能力差,而水是加工肉制品盐溶液的主要成分。

决定肉的保水性的三个主要因素是:1)净电荷作用,2)空间作用,以及3)蛋白水解作用。净电荷作用与肌肉pH值直接相关。当pH值接近等电点( $\approx 5.2$ )时,保水性降低。当pH值在等电点时,保水性最低。净电荷仅作用于占肌肉细胞内5%左右的水分。

空间作用涉及将水保持在肌原纤维内的毛细管力,涉及肌原纤维内粗肌丝和细肌丝(肌节长度;图3.13)的间距。间距越大表明保水性越大。影响粗细肌丝间距的因素包括pH值、离子强度和肌肉的僵直状态。当pH值和离子强度增加,粗细肌丝之间的间距随之增加。

蛋白水解作用与肌肉转化为肉的过程中发生的蛋白质变性有关。蛋白质变性的程度增加,导致保水性变差。这种蛋白质变性与pH值水平及其下降速度有关。pH值下降速度越快,蛋白质变性的程度越高,保水性越低。蛋白质变性还取决于肌肉温度,肌肉温度越低,发生的变性越少。

### 3.2.2.2 肉色

新鲜猪肉的颜色主要受肌红蛋白含量控制。此外,另外两个因素也会影响肉色,包括细胞色素(负责肌肉中的氧气储存)以及僵直的进程。

发生氧化(有氧)代谢时会使肌红蛋白浓度升高。I型肌纤维本质上更具氧化性,因此其肌红蛋白浓度更高,肉色更红。

存在不同的肉色,部分原因是肌肉的纤维类型不同。这些肉色差异见于具有不同功能的不同肌肉之间。此外,不同物种可能对肌肉的利用不同。差异也可能出现在同一个物种的同一品种/品系中。

年长动物的肌红蛋白水平高于年轻动物。然而,肉色并不完全代表肌红蛋白浓度。如在系水力部分所述,蛋白质变性发生在高温和低pH值的肌肉中。这种变性也会影响肌红蛋白(金属蛋白),变性会改变肌红蛋白的溶解度。一旦肌红蛋白溶解度发生变化,它将失去让肉色发红的能力。

变性的肌肉蛋白质可通过影响光的反射方式来改变肉色。如果pH值保持高位(pH值缓慢下降)，则几乎不会发生蛋白质变性，从而导致暗色光谱反射。然而，在低pH值(pH值快速下降)的条件下，会发生更多的蛋白质变性，且由于浅色光谱反射，肉色看上去较浅。

此外，与肌红蛋白相关的血红素铁(Fe)的氧化状态也会影响肉色。当血红素铁处于亚铁状态( $\text{Fe}^{2+}$ )时，肌红蛋白可能是以氧合肌红蛋白(含氧)或脱氧肌红蛋白(不含氧)的形式存在。氧合肌红蛋白呈鲜红色，而脱氧肌红蛋白呈暗紫红色。一旦肌肉被切开，这两种肌红蛋白形式便会使肉色发红。

在切开之前，肌红蛋白主要以脱氧肌红蛋白的形式存在。一旦肌肉被切开，脱氧肌红蛋白就会转化为氧合肌红蛋白，且由于氧气的存在，肉色变成更鲜亮的红色。最终， $\text{Fe}^{2+}$ 氧化成铁的三价态( $\text{Fe}^{3+}$ )，导致形成高铁肌红蛋白并使肉色呈现灰色至灰褐色。

高铁肌红蛋白的形成有实际影响，因为它会影响消费者对零售的肉品的观感。一旦出现这些灰色/棕色，消费者就会认为肉品不理想，他们会认为这是“不新鲜”或“过期”的肉品。

### 3.2.2.3 嫩度

嫩度是与整体食用品质相关的关键肉质性状。肉的物理特性和烹饪温度会影响嫩度。

肉的物理特性包括肌节长度、肌原纤维断裂、结缔组织的数量和大理石花纹。pH值等化学特性也通过影响肌节长度和肌原纤维断裂而发挥重要作用。

肌节长度很重要，因为它与僵直缩短的程度有关。由于冷收缩使肌节长度变得非常短，对嫩度有着极其不利的影响。通常，在正常条件下(无冷缩)会出现一定程度的僵直收缩，这会影响肌节长度和肉的嫩度。

肌原纤维断裂在嫩度的变化过程中很重要，因为它会导致僵直后肌肉蛋白质出现特定部位的结构性损坏，从而改善嫩度。肌原纤维的断裂按照较小的幅度不断增多，使嫩度逐渐改善。钙蛋白酶(分解蛋白质的酶)主要负责使肌原纤维断裂。钙蛋白酶活性取决于 $\text{Ca}^{2+}$ 的存在，而钙蛋白酶抑制蛋白会抑制钙蛋白酶的活性。

多种环境因素会影响钙蛋白酶活性，包括pH值、温度和氧化。在pH 7.0时可以观察到最佳的钙蛋白酶活性，且活性随着pH的降低而降低。大量的肉品科学研究表明，pH值的快速下降可能会完全阻止钙蛋白酶的激活，从而导致其无法降解肌原纤维蛋白。随着肉温度的降低，钙蛋白酶活性也会降低。即使在冷却肉温度(4°C或39°F)下，钙蛋白酶仍然会有一定活性。

发生肌原纤维蛋白降解的时间就是成熟期。猪肉的理想成熟期持续5至14天，嫩度的改善主要发生在第7至10天之间。

当肌肉中结缔组织(主要为胶原蛋白)的数量增加，嫩度降低。肌肉类型和生理机能不同，胶原蛋白的水平可能会有所不同。用于运动的肌肉的胶原蛋白水平较高且嫩度较低。随着动物年龄的增长，胶原蛋白交联的数量增加，导致嫩度下降。

有一份全面的文献综述探讨了大理石纹(肌间脂肪)和猪肉嫩度的关系,发现研究结果在这点上并不一致,得出的结论是大理石纹最多只会对猪肉嫩度有轻度影响。大理石纹对嫩度的改善似乎比肌肉pH值水平和宰后pH值下降速度对嫩度的影响要小得多。

烹调方法对猪肉嫩度有很大影响。熟度或烹饪中心温度会影响感官小组的嫩度评分,中心温度越高,猪肉越嫩。美国农业部(USDA)建议将猪肉烹饪到 $63^{\circ}\text{C}$ ( $145^{\circ}\text{F}$ )的中心温度并静置3分钟,以实现最佳嫩度并确保无微生物影响食用安全。虽然中心温度很重要,但切割方式、烹饪速度和/或烹饪方法(即用烤架烤、用面火炉烤、真空低温烹调)均可影响猪肉的最终嫩度水平。

### 3.2.3 影响pH值下降和肉品品质的因素

宰后24至48小时的pH值( $\text{pHu}$ )和宰后pH值下降速度( $\Delta\text{pH}$ )在保水性、肉色和嫩度方面对肉品品质起着至关重要的作用。普遍认为有四种经典的pH值下降速度(图3.14),分别为:

1. pH值快速下降且 $\text{pHu}$ 低( $\text{pHu} = 5.40 - 5.60$ ),导致PSE(Pale, Soft, and Exudative苍白、柔软和渗出)肉。
2. pH值正常下降且 $\text{pHu}$ 低( $\text{pHu} = 5.30 - 5.50$ ),导致RSE(Red, Soft, and Exudative红色、柔软和渗出)或PSE肉。
3. pH值正常下降且 $\text{pHu}$ 正常( $\text{pHu} = 5.60 - 5.80$ ),导致出现RFN(Red, Firm, and Non-exudative红色、坚硬和非渗出性)或RSE肉。
4. pH值下降缓慢且 $\text{pHu}$ 值高( $\text{pHu} = 6.50 - 6.80$ ),导致DFD(Dark, Firm and Dry暗红、坚硬和干燥)肉。

决定pH值下降速度和程度的主要因素包括猪遗传、储存的肌糖原量、宰前应激水平和胴体冷却速度。其他因素,如致昏和放血,也会影响肉品品质。

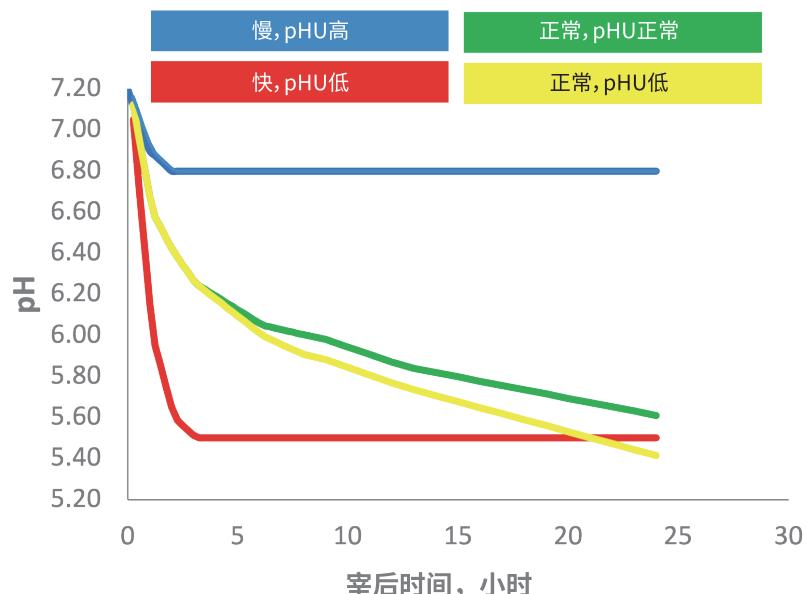


图3.14 宰后pH值下降

### 3.2.3.1 遗传对pH值的影响

遗传选育可以提升高pH值的遗传潜力。由于对pHu的遗传选择，肌肉的纤维类型分化和/或应激敏感性可能会发生变化。目前已观察到猪自身的品种对其pH值存在影响。然而，随着现代化的遗传选育对其他性状的改善，这些品种本身带来的差异可能不会在同一个品种的所有品系中均得到明显体现。因为宰后肌肉pH值的变化，特别是最终pH值，是影响肉质的最关键因素，在此提供了肌肉pH值的遗传学简介，重点介绍已知的主要基因影响。

将分子遗传学技术应用于猪改良始于1991年，当时的研究人员发现了导致猪应激综合征(PSS)的位点突变，由此开发了DNA检测技术并实现了该技术的商业应用(HAL-1843™；加拿大多伦多创新基金会商标；Fuji等人，1991年)。氟烷或应激基因是研究最多的影响肉质的主要基因。在发现致病突变之前，饲养员只能通过氟烷测试区分没有突变的猪(即正常基因纯合子或NN)和有两个突变拷贝的猪(即致病基因纯合子或nn)。该测试无法识别仅携带应激基因(杂合子或Nn)的猪群。处于隐性状态的钙离子释放通道兰尼碱受体基因(RyR1)的单点突变是导致PSS和恶性高热综合征(MHS)的原因。该基因同时可能参与决定了猪的肌肉量和瘦肉率，或与影响肌肉量和瘦肉率的基因密切相关。

当在屠宰前突然暴露在应激环境下时，这种携带两份突变基因的猪很可能在屠宰后肉质出现苍白、柔软和渗出(PSE)。施加给猪的应激信号会增加肌肉糖酵解，导致糖原分解和乳酸产生的速度加快。宰后，乳酸快速增加会导致pH值迅速下降，而此时肌肉温度仍然很高(38°C/100°F)。这会导致肌肉蛋白质过度变性，从而导致肉色非常苍白，保水性差。由于这些过程发生得非常迅速，ATP会很快耗尽。在有些情况下，肌肉会在40分钟或更短的时间内形成僵直。2000年代初，所有PIC品系中的应激基因已全部移除，但世界上部分地区仍在使用来自其他遗传公司的应激基因阳性的皮特兰品系。

另一个主要在汉普夏品种中分离出的影响肉质的主要基因是拿破RN-(Rendement Napole)基因。这种显性基因主要会增加IIB纤维和肌肉组织的糖原含量，从而导致高肌肉糖酵解潜力。更高水平的糖原储备使宰后糖酵解持续时间更长，使乳酸产量增加以及pH值降低，超过正常猪的预期水平。当这种现象与正常速度的pH下降同时发生时，通常会形成RSE肉。但是，如果应激导致pH值下降速度加快，则可能会导致PSE肉。

RN-基因与改善猪肉嫩度有关。这很可能是由于低pH值导致的蛋白质过度变性(酸化)。然而，蛋白质过度变性会损害保水性，从而降低猪肉的深加工价值。考虑到保水性降低带来的负面经济影响，PIC和大多数其他遗传公司在二十一世纪的时候从各自的汉普夏种群中移除了这一基因突变。

除了这两个基因突变外，遗传选育可以有效地提升高pH值的遗传潜力。由于对pHu的遗传选择，肌肉的纤维类型分化和/或应激敏感性可能会发生变化。目前已观察到猪自身的品种对其pH值存在影响。然而，随着现代化的遗传选育对其他性状的改善，这些品种本身带来的差异可能不会在同一个品种的所有品系中均得到明显体现。

### 3.2.3.2 糖原储备对pH值的影响

由于糖原是在有氧条件下发生糖酵解的主要底物,这一过程中会产生乳酸,肌肉细胞中的糖原储备量会影响pH值下降的程度。降低糖原水平的最佳方法之一是在屠宰前停饲并控制应激。

屠宰前24小时停饲可使糖原水平降低20%至50%。虽然具有更高氧化潜力的肌肉组织(含有更多的红肌纤维)将消耗更高比例的糖原储备,但它们本来储存的糖原就较少。让猪暂停采食从而减少糖原储备,肉的pH值会更高。

宰前应激也可以通过无氧糖酵解消耗糖原储备水平。然而,因为消耗糖原会降低pH值,猪在放血前必须有足够的时间从肌肉中排出多余的乳酸,应该让这一步发生在停饲期间。

### 3.2.3.3 宰前应激对pH值的影响

待宰时发生应激会对pH值下降的速度和程度产生极大的影响。遗憾的是,猪从离开猪场到被屠宰的过程本身就容易发生应激。

猪在应激时会发生一系列激素分泌和生理变化,这会启动无氧代谢导致过量乳酸产生。如果猪能从应激中恢复,乳酸会经血液从肌肉中排出。然而,通常屠宰过程中可能不会留出足够的时间让猪从肌肉细胞中完全排出乳酸,这可能会影响宰后pH值的下降速度。

临近或紧接着放血前发生的应激会对宰后pH值下降产生很大影响。开始放血后,乳酸就不会再从肌肉中排出。

一般来说,应激始于装猪、运输和卸猪过程。虽然在某些情况下这些应激源可能产生严重影响,但如果在屠宰前让猪在待宰圈内得到充分休息,这些应激源对宰后pH值下降的影响通常会更小。与到达屠宰场之前发生的应激相比,从猪离开待宰圈到致昏失去知觉之间出现的应激对宰后pH值下降的影响要大得多,因为猪没有从应激中恢复的机会。

许多因素会造成应激,包括:

1. 极端环境
  - a. 温度极高或极低
  - b. 湿度高且天气炎热
  - c. 空气质量(通风)差
2. 设施设计缺陷导致猪的活动受到影响
  - a. 照明过度或不足,或灯光位置有问题
  - b. 空间过大或不足影响猪的活动
  - c. 需要猪转弯超过90°,需要猪爬上爬下,需要猪长距离行走,地面设计不统一或非封闭墙面。
  - d. 排水不当形成倒影或分散注意力
  - e. 设备有缺陷或设计不良(如装猪、卸猪坡道)
3. 栏位空间不足,屠宰前猪无法充分休息

4. 运输程序不当
  - a. 运输密度过大
  - b. 未能提供垫料
  - c. 使用的拖车不利于猪轻松上下车(如凹板拖车)

5. 动物处理程序不当
  - a. 一次性转猪头数过多
  - b. 转猪速度太快
  - c. 转猪粗暴、使用不当工具或正确工具的滥用
  - d. 驱赶猪前进时人猪交互不当

6. 致昏方法

各种因素均可能直接或间接地让猪产生应激。例如，粗暴对待某头猪会让该猪产生直接应激。然而，如果工人正在移动一大群猪，而该猪群突然停止移动，则会产生间接应激。由于猪群的规模太大，工人不能轻松移动领头猪，因此在设法移动猪群时可能会失当地或粗暴地对待后面的猪。在这种情况下，停止移动虽然不会直接让领头猪产生应激，但会间接让后面的猪产生应激。从改善pH值和肉品品质的角度以及从动物福利的角度，都应尽量减轻这些应激源的影响。

#### 3.2.3.4 脊体冷却对pH值的影响

脊体冷却对pH值下降和最终的肉质都会产生重大影响。如果在脊体内部温度降至35°C (95°F) 或更低之前，pH值低于6.0，则肉品品质变差的风险会增加。相反，如果脊体内部温度在完全僵直之前冷却到15°C (59°F) 以下，则可能会发生冷缩，导致猪肉嫩度下降。

在正常的行业情形中，即使是使用更强力的冷却系统，冷缩的风险依旧很低。行业中更常见的问题是冷却不良，会导致pH值快速下降或长时间处于降低当中，进而导致猪肉品质下降。

放血时，肌肉温度约为39°C (102°F)。到屠宰后24小时，脊体温度应降至5°C (41°F) 以下。由于血液对维持肌肉温度稳态至关重要，放血后，肌肉将失去温度调节能力。

最初，由于宰后从骨骼肌的有氧代谢转变为肉的无氧代谢，脊体温度会略微升高。在极端情况下，在宰后30至60分钟之间，大排深部肌肉的温度可达42°C (108°F)，后腿深部肌肉的温度可达43°C (109°F)。

根据当下的代谢水平和屠宰车间的环境温度，有助于确定宰后脊体温度升高的程度。在大多数情况下，脊体会在宰后大约30至45分钟进入冷却流程。届时，温度升高已经达到峰值或不久后将达到峰值。一旦脊体进入冷却流程，所用的冷却系统类型将决定温度下降的速度。

### 3.2.4 脱体冷却原理及其对肉质的影响

宰后猪胴体应尽快冷却。要确保猪肉行业采纳快速制冷，了解猪肉冷却背后的机制至关重要。

必须存在热梯度才能成功地让胴体散热，这种热梯度是冷却期胴体与其所处环境温度之间的温差。胴体冷却时的低温环境会与胴体之间产生热梯度，让胴体发生降温直至达到热平衡。

由于温度下降的速度取决于胴体和周围环境之间的温差，温度梯度越大，温度下降越快。胴体散热原理有两种，即对流冷却和传导冷却。当介质经过胴体表面出现热量传递时，就会发生对流冷却。冷却胴体的两种介质包括空气和水。对流冷却的速度取决于胴体周围的空气流速。强制对流是利用风扇使胴体周围的空气流动，而自然对流则不使用风扇。强制对流可加快热传递，因为胴体周围的热量被主动移除并替换为较冷的空气。这能够保持温度梯度和冷却速度。许多猪肉冷却系统使用喷淋系统，其工作原理与对流冷却相同。

传导冷却通过分子振动实现固体内的热传递，热量沿温度梯度方向移动。当胴体外部冷却后，会与胴体内部形成温度梯度，继而从胴体内部转移热量。值得注意的是这两种机制可同时发生。温度梯度的维持情况会影响冷却速度。

胴体冷却的三种主要方式是常规冷却、喷淋冷却和急速冷却。常规冷却系统的温度设定点通常在-1°C (30°F) 到2°C (36°F) 之间，风扇速度范围为0至3 m/s (0 至 10 ft/s)。通常会在冷却循环期间调整温度，以加快冷却过程或防止胴体变得过冷。

喷淋冷却需要将水喷到胴体上。全球主要使用两种喷淋系统。常规的喷淋冷却系统在冷却的前几个小时内向胴体旋转喷水，同时使胴体处于与常规冷却相同的环境条件。当胴体通过冷却隧道 ( $\approx 1^{\circ}\text{C}$  或  $34^{\circ}\text{F}$ ) 时，隧道喷淋冷却系统会向胴体喷洒细水雾，然后再对胴体进行常规冷却。胴体在喷雾隧道中的时间可能会有所不同，但通常持续3至6小时。

急速冷却采用极低温度和较高的风速。胴体急速冷却系统通常的设定温度范围为-10°C至-40°F (14°C至-40°F)，风扇速度为3至10 m/s (10至33 ft/s) 并持续90至120分钟。

急速冷却室通常由不同分区组成，各个分区的温度和风速设定值不同。理想情况下，急速冷却过程开始时，温度设定较低、风扇速度设定较快，且随着过程的进行趋于中等温度和速度。胴体离开急速冷却室后，进入冷藏间。冷藏间的温度和风速设定值与一般的常规冷却相似。

胴体间距等因素会极大地影响冷却速度。因此，适当地分隔胴体很重要，以便散去胴体之间的热量并保持良好的温度梯度。胴体间隔不当时，胴体与相邻胴体所有接触面的温度梯度会降低，导致冷却效果不佳（图3.15）。即使是使用急速冷却，胴体也需要适当的均匀间隔，以维持急速冷过程中形成的温度梯度。

这些不同的冷却系统对胴体温度下降、pH值以及肉品品质的其他方面有着深远影响，其中急速冷却与其他冷却形式的差异最大。PIC评估了使用17种常规冷却（包括喷水和不喷水）和9种急速冷却装置时温度的下降情况，以确定其对温度下降、pH值、肉色和硬度的影响。急速冷却使后腿、腰部和肩部的温度下降更快，整体环境温度更低（图3.16）。此外，急速冷却还提高了大排肌肉品质。具体而言，pH值提高了0.10，日本肉色得分提高了0.24个单位，硬度提高了0.20个单位（图3.17）。

如果在冷却的前1至1.5小时内，冷却过程足够快（大排肌肉内部温度低于32°C/90°F），肉色通常良好。但是，如果在冷却的前4至5小时内冷却过程不够快（大排肌肉内部温度低于13°C/60°F），pH值可能会很低，从而导致RSE肉的形成。冷却过程必须足够快，即在前4至5小时内将胴体冷却至13°C/60°F的目标温度，才能确保获得理想的肉色和pH值，这一点至关重要。

急速冷却的另一个好处是减少胴体干耗（热胴体重量与冷胴体重量之间的差值）。大多数常规冷却设备的胴体干耗约为2%至4%，而急速冷却设备的胴体干耗通常低于1.25%，其中有很多设备的胴体干耗低于1%。这是一项重要的经济考虑因素。由于在整个冷却过程中保持了较高的pH值/保水性，肉的大部分水分得以保留，同时保持了最终可销售产品的重量。

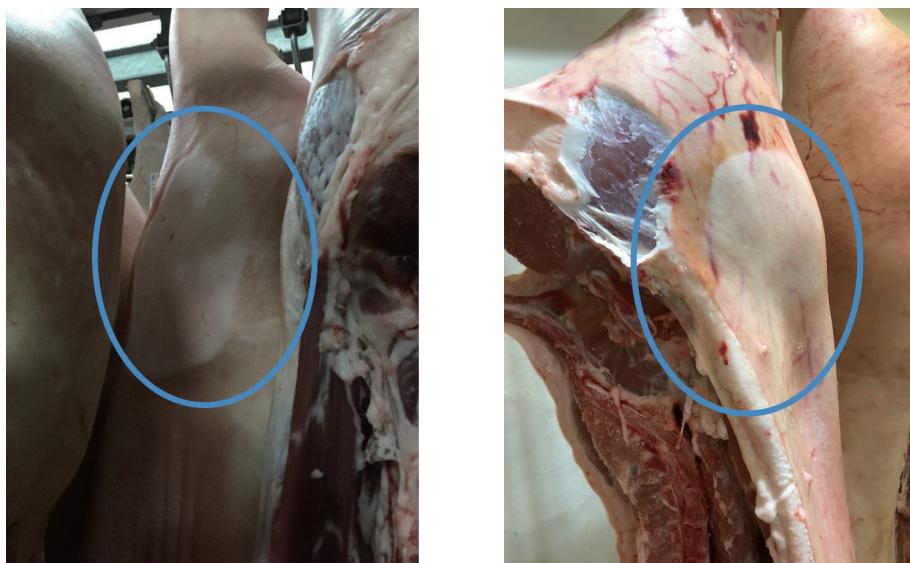


图3.15 胴体间距不当的后果

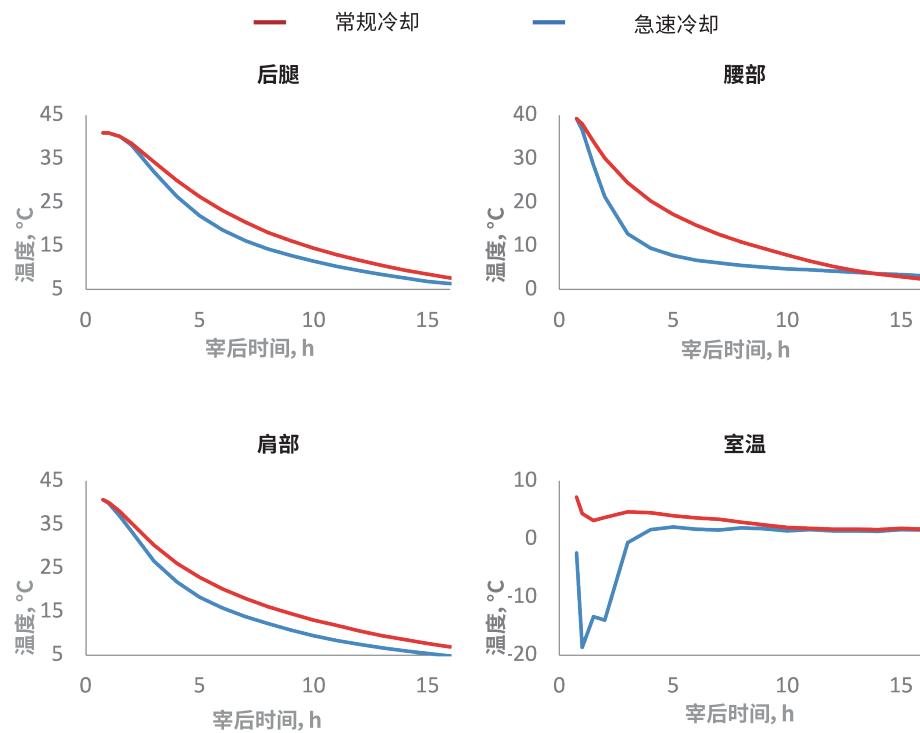


图3.16 常规冷却和急速冷却之间的冷却速度差异

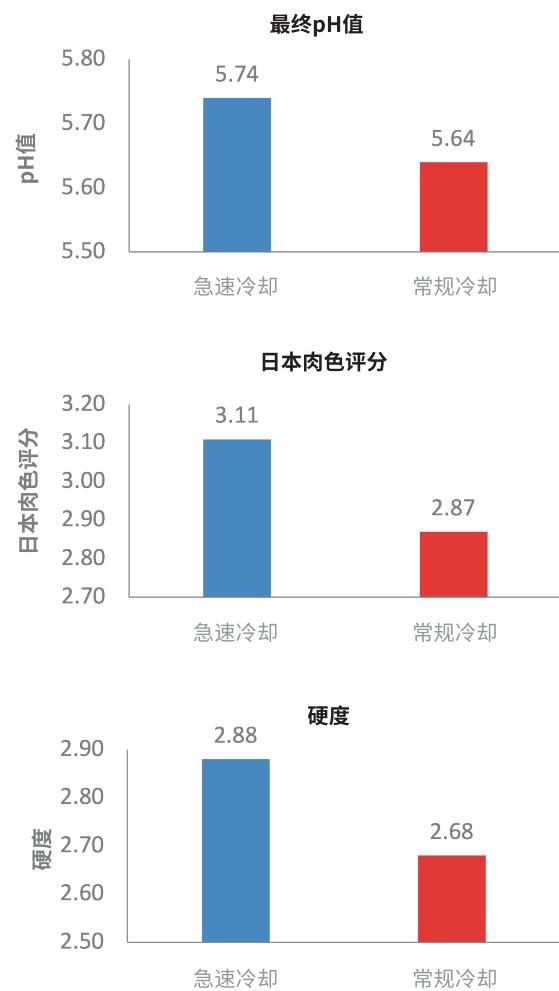


图3.17 常规冷却和急速冷却的大排肌肉品质差异

### 3.2.5 致昏原理及其对肉品品质的影响

致昏是使猪在放血前失去知觉。三种可接受的致昏方法是机械致昏、电击致昏和气体致昏。大多数大型屠宰场使用电击致昏或气体( $\text{CO}_2$ )致昏，因此在此更详细地讨论这两种方法。

#### 3.2.5.1 电击致昏

电击致昏诱发癫痫发作，使猪失去知觉。这是通过仅对头或对头身施加高压电流实现的。

仅头部致昏时，将电极放置在耳后到脖子的区域(图3.18a)，使电流通过大脑。头心致昏时，头部使用与仅头部致昏相同的探头，并在心脏区域放置附加探头(图3.18b)使电流通过心脏。仅头部致昏是可逆的，但头心致昏不可逆。后者会诱发心室颤动(心脏骤停)，通常会在放血前导致猪死亡。

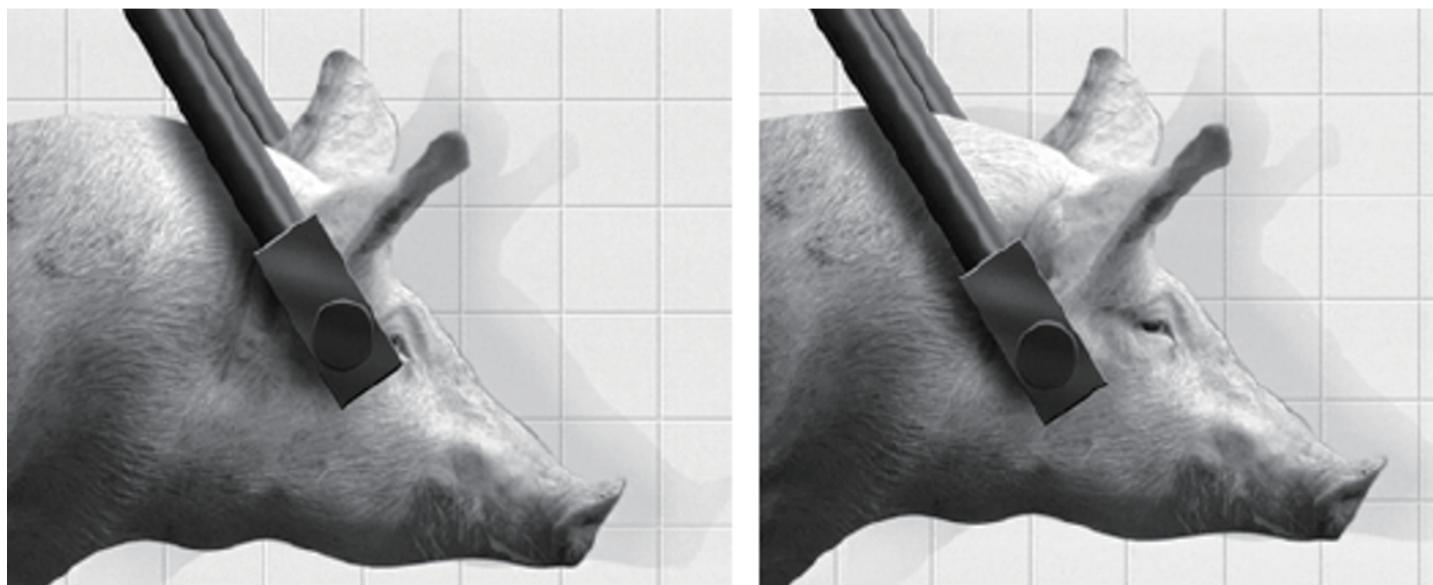


图3.18 电击致昏的正确电极放置

图片来源：人道屠宰协会，2016年。

使用正确的电流对于确保有效击昏非常重要。根据欧姆定律，电流等于电压除以电阻。电流以安培(A)为单位，而猪需要1.25A才能有效击昏。每头猪的电阻(欧姆/ $\Omega$ )都不同。许多因素都会影响电阻，例如电流必须通过的距离和电流必须通过的材料的导电性。由于水是绝佳的电导体，因此通常在致昏前给猪淋浴以减少电阻。

一头100 kg(220 lb)重的猪的电阻通常在150至350  $\Omega$ 左右。以最小电阻150  $\Omega$ 计，维持1.25 A的电流至少需要188 V的电压。然而，在致昏时不能基于最小电阻，因为大多数猪在188 V的电压下不能有效昏迷。当电阻为350  $\Omega$ 时，需要440 V的电压才能提供1.25 A的电流有效致昏，但此时的电流(2.9 A)比电阻为150  $\Omega$ 的猪所需的电流高得多。

从动物福利的角度来看，电流过高不是问题。然而，从猪肉品质的角度来看，电流过高会导致骨折、肌肉淤血（瘀点、瘀斑）或血液淤积/蛛网状血管（图3.19）的情况增加，从而降低产品价值。肌肉淤血是由致昏期间血压升高引起的，这会导致血管出血并在猪肉中留下可见血液。



断骨



血管破裂且血液残留



后腿血斑



小里脊血斑

图3.19 电击不当造成的损坏

高频致昏通常是用于从福利角度考虑,确保充分致昏并避免肉质瑕疵。频率(以赫兹/Hz为单位)是测量电流波形每秒重复的次数,通常电流频率为50至60Hz。高频电流(1000至3000Hz)可尽可能地减少骨折和瘀点。然而,研究表明,高频电击会增加阻抗,导致需要将电压增加100 V,高于标准频率致昏时的电压。

致昏系统可以使用固定电压或可变电压。可变电压系统更受欢迎,因为它们能够提供恒定电流,确保猪不会过度昏迷或昏迷不足。固定电压系统必须在足以使所有猪昏迷的电压下使用,因此,对于一些猪来说,电流会过高,导致骨折和肌肉淤血。

正确致昏还取决于致昏设备的维护、电极的正确放置和致昏持续的时间。电极脏污或磨损会使电阻增加200Ω。同样,电极的放置会影响电阻和电击致昏的效果。施加电流的时间应为3至5秒。电击少于3秒会导致无效致昏,电击3秒以上除了诱发不可逆转的昏迷外没有其他好处,而电击超过5秒可能会导致更多的断骨、瘀点、肌肉淤血和胴体血液残留。

### 3.2.5.2 气体(控制环境空气)致昏

在过去的30年中,CO<sub>2</sub>气体致昏的普及率急剧增加。CO<sub>2</sub>气体致昏是指将猪浸入高浓度CO<sub>2</sub>气体中,使其失去知觉。大多数较新的CO<sub>2</sub>系统是为一次致昏4至8头猪开发的,但一些用于一次致昏1头猪的旧型系统仍在使用。

CO<sub>2</sub>致昏系统有吊舱式和升降式两种基本设计。吊舱系统按照摩天轮的原理运行,将多个吊舱(通常4至7个)下降到一个含有高浓度CO<sub>2</sub>气体的深井中(图3.20)。然后,将猪送回顶部,从吊舱中运出,挂上挂钩,放血。

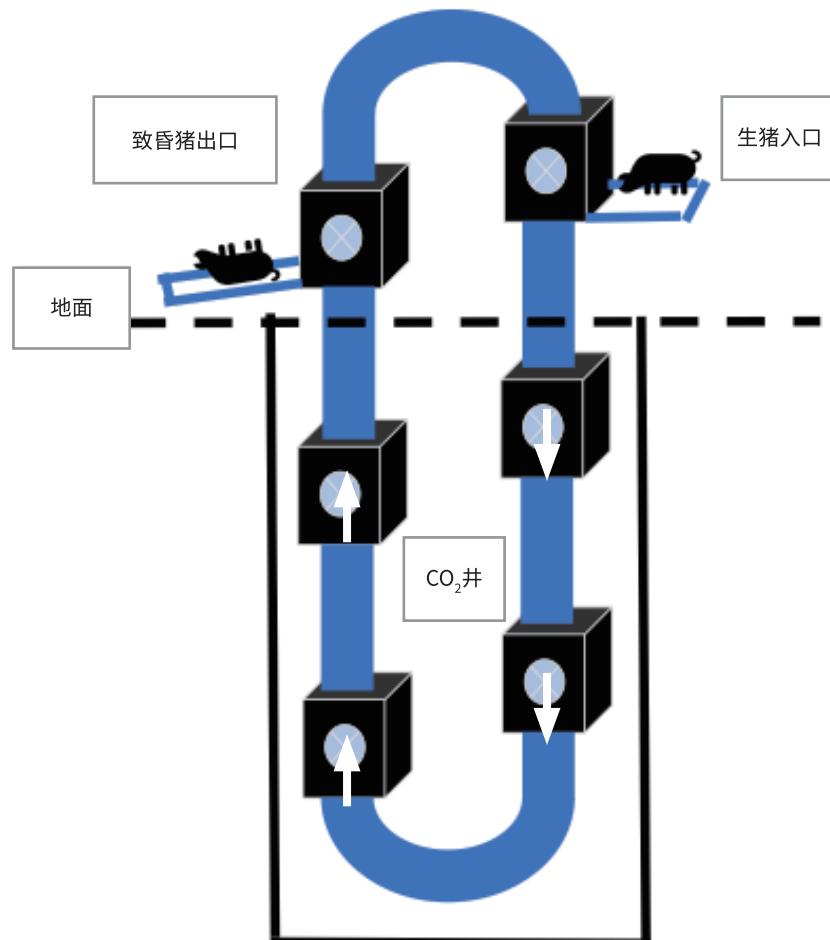


图3.20 CO<sub>2</sub>致昏室整体图示

升降式系统的操作与电梯类似，配备一个充满CO<sub>2</sub>气体的深井和单个吊舱。吊舱在装入适当数量的猪后，会直接下降到CO<sub>2</sub>浓度最高的井底。将猪有效致昏后，升起吊舱，将猪送去放血。

不同于旧的侧载式致昏室，大多数（可能全部）新型的CO<sub>2</sub>系统都采取后载形式。侧载式致昏系统需要设置单列通道（或“铁架”），才能按照生产线的速度有效装载。使用后载系统，可以同时装载整个猪群，使猪自动进入致昏室。这大大降低了猪的应激水平，从而提高了肉品品质。

影响CO<sub>2</sub>致昏效果的主要因素包括CO<sub>2</sub>浓度、停留时间（接触气体的时间）和环境温度。使用适当浓度的CO<sub>2</sub>很重要。由于诱发昏迷的阶段可能会使猪出现应激，因此最好尽量缩短猪从接触气体到昏迷的时间。

研究表明，当CO<sub>2</sub>浓度低于90%时，需要更长时间才能诱发昏迷。Raj和Gregory（1996）指出，当CO<sub>2</sub>浓度为90%时，诱发昏迷需要15秒，当CO<sub>2</sub>浓度为80%时，则需要22秒。根据一般观察，当CO<sub>2</sub>浓度超过95%时，猪的动作和声音通常会在大约15至20秒后停止。当CO<sub>2</sub>浓度超过90%时，动作和声音通常会在同一时间范围内停止。由于每个屠宰场和致昏系统都是独一无二的，因此请调整CO<sub>2</sub>浓度，使所有猪在接触CO<sub>2</sub>气体后20秒内停止动作和声音。

停留时间对于确保猪在放血之前保持昏迷状态至关重要。停留时间通常也取决于CO<sub>2</sub>浓度。CO<sub>2</sub>浓度越高，所需停留时间越短。停留时间太长可能导致无法有效放血。当停留时间超过180秒时，血液会滞留在血管中，无法有效排出。这些猪在离开CO<sub>2</sub>致昏室时会出现尸斑（图3.21）。这是由于死亡后血液沉积引起皮肤由红色变为蓝紫色。



图3.21 猪离开CO<sub>2</sub>致昏室时出现尸斑

当CO<sub>2</sub>致昏室的环境温度低于7°C(45°F)时,猪可能会在离开致昏室后表现出恢复知觉的迹象。如果发生这种情况,应将CO<sub>2</sub>浓度提高1%至2%,以尽量减少此问题。

文献综述表明,与电击致昏相比,CO<sub>2</sub>致昏可提高肉品品质,且最稳定的效果是几乎可以完全消除肌肉淤血。CO<sub>2</sub>致昏不会像电击致昏那样升高血压,因此不会使血管破裂引起肌肉淤血。大多数研究得出的结论是,CO<sub>2</sub>致昏可改善肉的pH值、肉色和滴水损失。

一般认为pH值、肉色和滴水损失的改善是由于动物处理程序得到改善,而不是因为实际致昏程序。用后载式CO<sub>2</sub>致昏室(猪成群移动)替换侧载式CO<sub>2</sub>致昏室(猪单列移动)可显著改善初始pH值(0.20个pH单位)。这清楚地表明,成群致昏降低了猪的应激水平并提高了肉品品质。

PIC评估了26家商业屠宰场的降温程序、pH值、肉色和硬度,由此确定常规冷却(包括喷水和不喷水)与急速冷却对肉质的影响。PIC根据猪进入致昏室的移动形式(成群与单列)和冷却速度(急速与常规)对屠宰场进行分类。成群致昏是指通过让猪群自动进入致昏室CO<sub>2</sub>致昏。单列致昏包括电击致昏和CO<sub>2</sub>致昏,需要将猪以单列方式转移至致昏室。

与猪单列活动相比,成群致昏的大排肌肉初始pH值增加(0.24个pH单位)(图3.22),而最终pH值、肉色评分和硬度只有在结合强力急速冷却系统时才会得到改善。这些结果表明,在商业条件下,当胴体冷却不良时,仅降低致昏前应激水平未必足以改善猪肉品质。

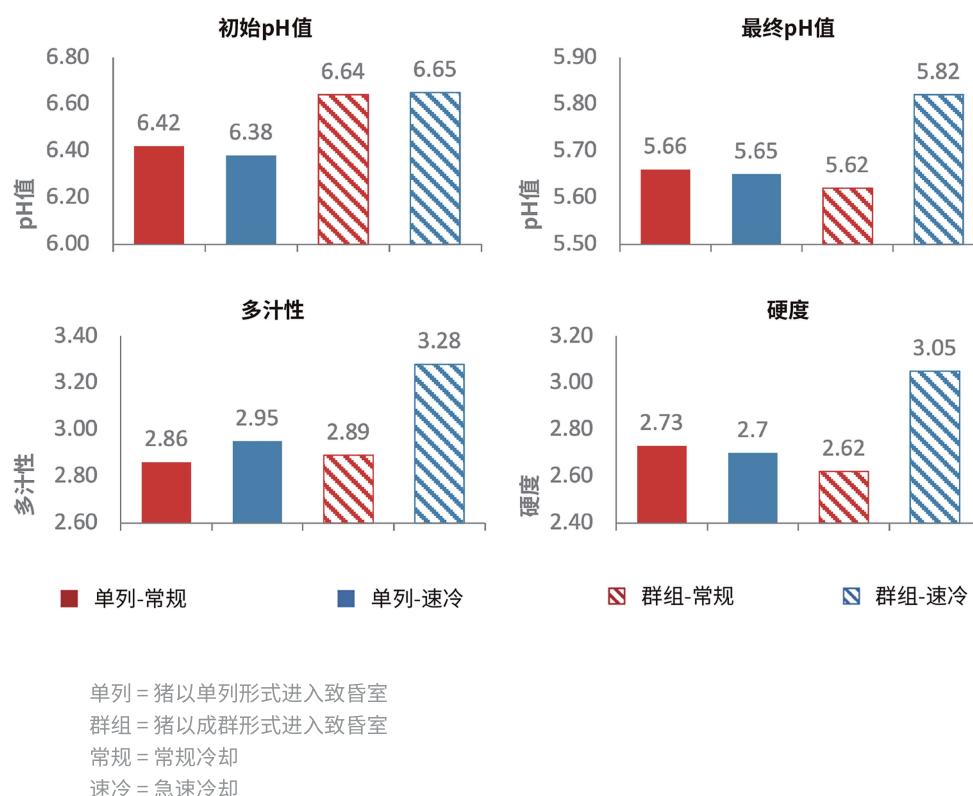


图3.22 成群致昏和冷却对腰肉品质的影响

### 3.2.6 放血原理及其对肉质的影响

放血也会影响肉品品质。该流程通常被称为“刺杀”或“放血”，其目的是猪的宰杀和排空血液。

放血时要切断心脏附近的大动脉和大静脉。这需要至少切断颈动脉和颈静脉，并在此过程中切断其他血管，让猪快速失血。为此，需将刀插入胸骨上方凹陷处的中线，并指向心脏以切断心脏附近的主要血管(图3.23)。

尽可能多地放出血液对于生产高品质的猪肉产品至关重要。一般来说，仅50%至60%的血液可从胴体中排出，大部分血液会留在重要脏器内。肌肉和脂肪中的残留血液会导致微生物加速滋生，因为血液为细菌生长提供了理想的培养基。微生物加速滋生会加剧猪肉产品的保质期缩短。血管中的残留血液(图3.24)也会导致产品品相不佳。在商业情况下，这种血液残留被视为是胴体瑕疵或分割肉瑕疵。

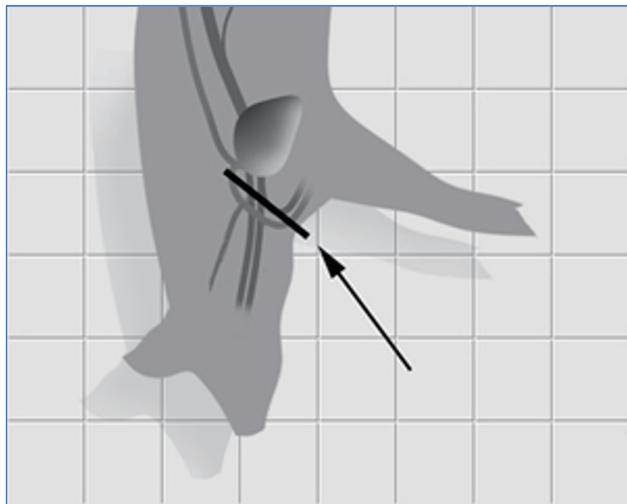


图3.23 正确刺杀的进刀角度

图片来源：人道屠宰协会，2016年。



图3.24 血管中的残留血液

最佳的放血效果与猪的致昏过程有关。从致昏后到放血前的时间对于确保在猪恢复意识之前及时宰杀至关重要。时间安排也有利于最佳的放血效果。对于仅头部电击致昏，该时间应少于10秒。对于CO<sub>2</sub>致昏，更重要的是放血足够快以确保最佳的放血效果。通过CO<sub>2</sub>致昏，猪通常会保持昏迷状态90秒以上或者直接死亡。假设在CO<sub>2</sub>气体中停留时间为180秒或更短，则所有离开吊舱的猪都应在60秒内放血，最长不超过90秒，以确保恰当放血。

可在电击致昏后立即将猪水平放置在传送带上进行放血，或给猪套上挂钩垂直悬吊，用CO<sub>2</sub>致昏（或在某些情况下用电击致昏）后进行放血。虽然垂直刺杀比水平刺杀更容易执行，但电击致昏通常采取水平刺杀，因为尽量减少从致昏到刺杀的时间极为重要。

在放血过程中，让血液从刺杀伤口顺畅地流出很重要。猪最初被刺后，血流时间最长达1分钟，随后血流量减少。此时，失血量足以导致猪死亡，但还需要去除剩余的血液以防分割肉块出现淤血。血流量减少会使刀口闭合，从而导致血液凝结并阻碍进一步排血。与电击相比，CO<sub>2</sub>致昏从致昏到刺杀的时间间隔更长，更有可能发生这种情况。

一种解决方法是在放血线上安装撞头杆（图3.25）。将猪的头部拖过横杆，使头部摆动，防止刀口的血液凝结。另一种方法是在插入刀时，将刀身旋转90度后再拔出。这会使刀口呈现“T”形，与正常的刀口不同（图3.26）。这种“T”形刀口降低了刀口完全闭合的可能性。扭转刀身也会切断更多血管，促进快速放血。

此外，刀口至少需要有2.5 cm (1 inch) 宽，否则很容易闭合。刀口不必太大 (> 3.8 厘米或 1.5 英寸)，否则由于刀口处需要额外修整，可能会导致胴体价值损失。



图3.25 使用撞头杆防止血液凝固



- 太大
- 扁平(未转动刀身)



- 太大
- 扁平(未转动刀身)



- 太小
- 扁平(未转动刀身)



- 大小适中
- 扁平(未转动刀身)



- 大小适中
- 扁平(未转动刀身)
- 切线太弯



- 理想
- 大小适中
- 转动刀身, 产生T形刀口

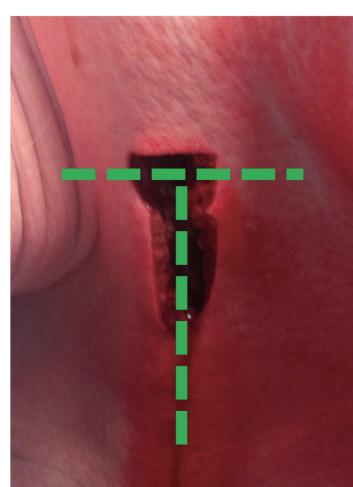


图3.26 正确和错误的刀口示例

### 3.3 管理瘦肉品质

#### 3.3.1 遗传

遗传对生产高品质的猪肉至关重要。虽然通常认为遗传对肉品品质变化的影响很大,但系统性(可管理的)和非系统性(不可管理的)环境因素会极大地影响遗传潜力的实现。

图3.27的典型示例说明了不同的管理系统如何影响遗传潜力的表达。在该示例中,更强力的冷却系统不仅使两个品系更多地表达出遗传潜力,而且使优良的遗传潜力在品系1中表达得更明显。

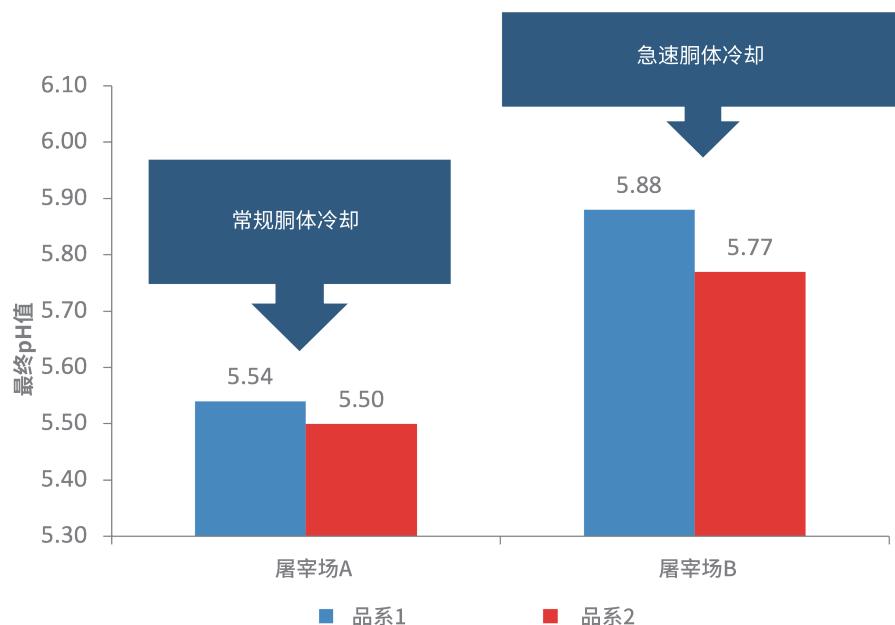


图3.27 环境因素阻止基因表达

长久以来公认的是,在猪肉品质差异上,20-30%的影响来自于遗传。该说法的前提是移除了HAL-1843<sup>TM</sup>(应激基因)和RN(Rendement Napole)基因,因为二者会增加基因对猪肉品质差异的影响程度。改良最终pH值或降低应激敏感性可提高在最终pH值、肉色、保水性和食用品质方面的遗传潜力(另见第3.2.3.1节遗传对pH值的影响)。

#### 3.3.1.1 遗传学建议

- 使用那些已通过遗传选育改善了猪肉品质性状(例如pH值和嫩度)的种猪。
- 使用不携带应激基因和RN基因突变的品系。

### 3.3.2 营养

在过去的30年里,研究人员对肉品品质的营养调控进行了广泛研究。评估的饲料成分包括(但不限于)肉碱、铬、甜菜碱、肌酸、镁、铁、锰、烟酸、维生素E、维生素D和维生素C。

虽然这些成分在pH值、肉色或滴水损失方面表现出了正面影响,但效果通常不具有稳定性、或效果太小而没有商业意义,或用于改善肉品品质在经济层面上无法推行。减少宰前应激和提高胴体冷却的速度对肉品品质的影响比任何营养干预都要大得多。

然而,营养干预可改变胴体的脂肪含量或类型以及大理石纹。通过饲喂理想的脂肪成分,可轻松改变脂肪酸组成。当这些差异足够大时,不同的脂肪酸可以改变猪肉的风味特征。通过饲喂缺乏赖氨酸的日粮,可增加肌间脂肪,但这通常在经济上不合算,因为赖氨酸缺乏会对生长速度、饲料转化率和整体胴体瘦肉率产生负面影响。

停饲是改善肉品品质的最佳营养干预措施,可有助于消耗部分肌糖原储备。对11项试验进行的元分析比较了停饲不到4小时和停饲8至24小时对pH的影响,结果表明,延长停饲时间可改善初始和最终pH值、肉色和滴水损失(图3.28)。停饲还可以提高食品安全性,因为停饲可减少肠道内容物,避免在掏膛过程中肠道内容物意外泄漏到胴体上。

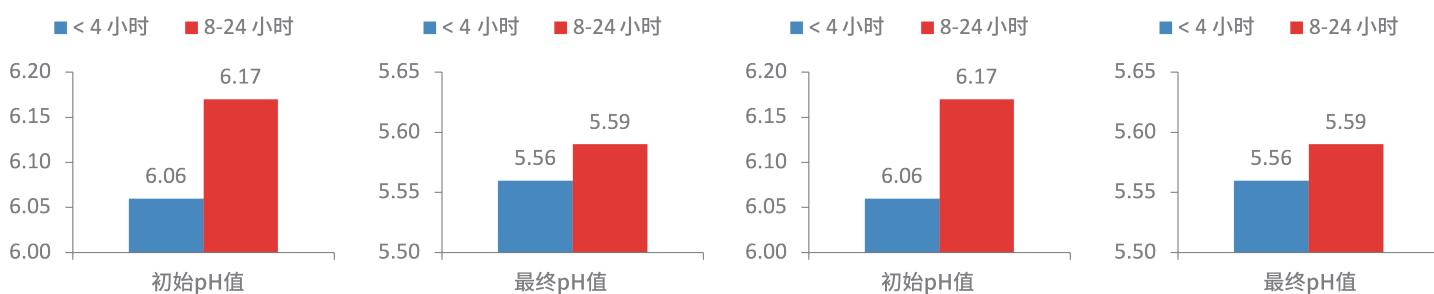


图3.28 停饲对猪肉品质的影响\*

\*以上是对9篇论文的11项试验的总结。每个处理组样本量大于30个胴体的试验会被纳入研究。该研究的试验组停饲时间必须少于24小时,且有一个停饲时间为0至4小时的对照组。

虽然停饲对于提高肉品品质和食品安全很重要,但过度停饲却会降低胴体价值。停饲24至30小时,肌肉组织开始收缩,这会降低胴体重量和胴体价值。

#### 3.3.2.1 停饲建议

- 停饲对肉品品质和食品安全都很重要。
- 目标是在宰前有12至24小时的停饲时间。
- 总停饲时间应包括:
  - 运输时间。
  - 装猪前在猪场停饲至少6至8小时。
- 在屠宰场卸猪后,宰前静养至少2至3小时。
- 如果一栋猪舍需要分多批出栏,除了第一批出栏的猪以外,停饲对后续批次的猪可能不是那么有利。
- 如果猪舍在出售前多次断料,则在出售时停饲可能会使留在猪场的猪因溃疡或其他肠道健康问题,增加死亡风险。

### 3.3.3 猪场装猪

在猪场装猪会产生影响肉品品质的一大首要应激。通过适当的转猪技巧、转猪工具和便于猪移动的设备，可最大限度地减少这种应激。

应保持让猪成小群移动。饲养员不应超出平衡点或进入猪的盲区（图3.29）。任何粗暴的转猪方式或噪声都会让猪产生应激，对猪移动起反作用。消除干扰并确保光线充足且没有重大的光线变化也很重要（图3.30）。

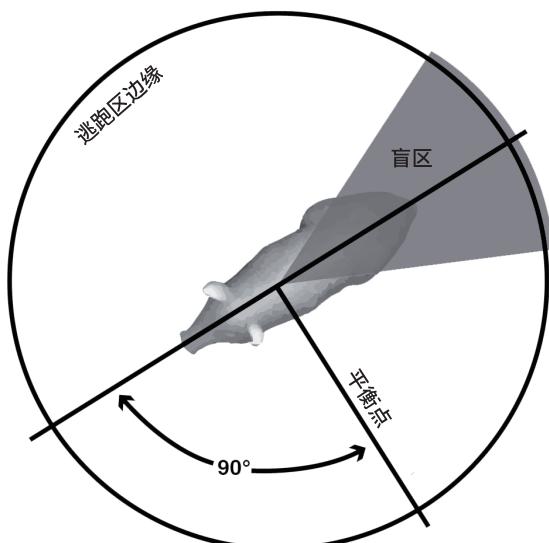
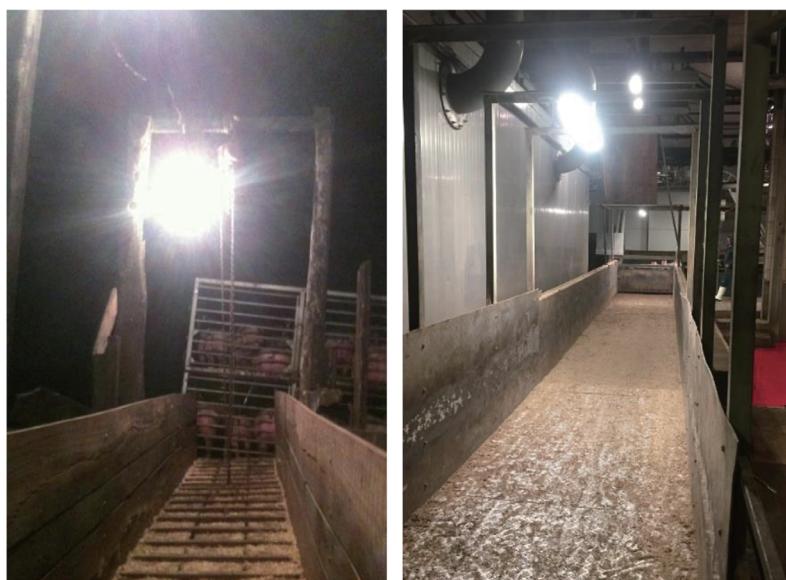


图3.29 移动猪的技巧

图片来源：美国国家猪肉委员会《运输质量保证手册》，2018年



光线不足，且唯一的灯正对着猪的眼睛。

光线充足，但灯安装得太低，会对猪产生干扰。

图3.30 可能影响猪移动的不良照明示例

### 3.3.3.1 猪场装猪建议

- 在装猪过程中, 猪应按小群(4-5头)通过0.91 m (36 in)宽的标准走道移动。
  - 移动更大的猪群需要更宽的过道。
  - 最大限度地减少应激。
  - 加快装猪速度。
- 使用适当的转猪工具进行装猪。
  - 如果可能, 不要使用电棒。如果使用, 电棒不应作为主要工具。
  - 使用挡猪板、赶猪拍和赶猪旗子。
  - 避免发出巨大的噪音, 例如大喊大叫或者敲击栏门或装猪台。
- 使用装猪坡道, 最大限度地减少应激。
  - 理想情况下, 应避免倾斜, 但如有必要, 坡道的倾斜度应不超过20度。
  - 装猪坡道的坡面应防止猪滑跌。
    - 坡道可采用防滑钉或防滑地面材料。
    - 防滑钉应根据猪的大小均匀分布, 参考行业指南。
- 确保在装猪过程中猪经过的所有区域都有适当的照明。
  - 猪在光线充足而没有重大光线变化的区域更容易移动。
  - 当猪在不同区域间移动时(即由过道进入装猪台, 再由装猪台进入卡车), 适当的照明至关重要。
  - 应采用漫射灯并安装得足够高, 以免光源对猪产生干扰。
    - 如果无法将灯安装在高处, 则应使用单向照明, 以免光源对猪产生干扰。
- 确保通道便于猪的移动(从围栏到卡车)。
  - 清除通道上的所有物体(软管、门杆等)和碎屑, 因为这些会对猪产生干扰。
  - 避免90度或更大角度的转角。
  - 避免通道突然变窄或出现其他突然变化。
  - 地面类型的变化、地面排水口以及地面积水的倒影均会干扰猪并影响其移动。
  - 理想情况下, 过道的宽度应足够两只猪并排行走。如果过道太宽, 猪可能会试图转身。

### 3.3.4 运输

将猪装上卡车后, 必须尽量减少运输应激。如果卡车内环境不好, 装猪时产生的应激就无法消除。在少于2小时的行程中, 通常猪不能在卸猪前适应装猪和运输产生的应激。

卡车的设计、猪的舒适度(温度和通风)和装载密度是影响猪在运输过程中应激水平的三个主要因素。

### 3.3.4.1 运输建议

- 卡车的类型和管理会影响猪的应激水平。
- 理想情况下, 最好的卡车类型可在不使用转猪坡道或装猪台的情况下装猪。
  - 这些卡车应配备移动式液压甲板, 用于所有猪都在同一高度装卸的情况, 或者配备液压升降机, 可将猪抬到与甲板同一高度。
  - 直板卡车比凹板卡车(罐车)更受欢迎。
  - 确保卡车内的地面铺有带纹理的地板、垫子或垫料, 由此产生更好的抓地力。

- 保持适当的温度和气流。
  - 根据行业标准，在寒冷低温时插入卡车挡板，在天气炎热时拆除挡板。需考虑目的地的气温以及装猪过程中的温度。
  - 在炎热的天气里，可喷洒水雾给卡车内的猪降温。但仅在出发前或出发时喷洒，这样卡车行驶时才能有助于避免湿度过高。
- 在卡车内提供足够的垫板。充足的垫板能够：
  - 吸收尿液，防止猪滑跌。
  - 在寒冷的天气让猪保暖。
    - 夏季用潮湿的垫板可降温。前提是卡车在行驶时产生了充足的气流，防止湿度过高。
- 确保适当的装载密度。
  - 密度过大会导致屠宰场的到场死亡 (DOA) 上升，应激数量增加。
  - 密度过小会导致更多猪跌倒，增加受伤的可能性。
  - 大规模生产研究表明，225至250 kg/m<sup>2</sup> (46.1至51.2 lb/ft<sup>2</sup>) 的装载密度可最大限度地减少DOA和应激数量。
    - 即使猪平均体重小幅增加也会影响装载密度，这时候需要减少卡车内装载的猪只数量以最大程度地减少运输损失（表3.2）。

**表3.2 当装载密度为250 kg/m<sup>2</sup> (51 lb/ft<sup>2</sup>)时不同平均活重下的卡车装载密度**

平均活重 kg/lb	所需占地面积 m <sup>2</sup> /pig	所需占地面积 ft <sup>2</sup> /pig	65 m <sup>2</sup> (699.65 ft <sup>2</sup> ) 拖车内装的猪只数量 # pigs
99.8 / 220	0.399	4.297	162.8
102.1 / 225	0.408	4.394	159.2
104.3 / 230	0.417	4.492	155.8
108.9 / 240	0.436	4.687	149.2
111.1 / 245	0.444	4.785	146.3
113.4 / 250	0.454	4.882	143.3
115.7 / 255	0.463	4.980	140.4
117.9 / 260	0.472	5.078	137.8
120.2 / 265	0.481	5.175	135.2
122.5 / 270	0.490	5.273	132.7
124.7 / 275	0.499	5.371	130.3
127.0 / 280	0.508	5.468	128.0
129.3 / 285	0.517	5.566	125.7
131.5 / 290	0.526	5.664	123.6
133.8 / 295	0.535	5.761	121.4
136.1 / 300	0.544	5.859	119.4

- 卡车装猪后，应直接开往屠宰场，及时卸猪。
- 避免不必要的停车和长时间停车。
- 按时装猪，使卡车能按时到达屠宰场，以便及时卸猪。

- 通常,运输时间/运输距离较长的猪肉品质会更好。
- 当运输时间不超过2小时,猪不能在经历卸猪应激之前消除装猪应激产生的影响。
  - 这种复合应激会损害猪和/或猪肉品质。
  - 当运输时间少于2小时,在屠宰场卸猪后应让猪静养至少3小时。

### 3.3.5 卸猪

合理的卸猪流程和宰前静养对于帮助猪快速克服应激至关重要。尤其当待宰圈太小,猪在屠宰前无法获得足够的静养时。通过适当的转猪技巧、转猪工具和适当的工具使用,可最大限度地减少卸猪应激。卡车到达屠宰场后不要延迟卸猪。屠宰场应制定卡车到场时间表,且每个人都需要遵守。

#### 3.3.5.1 卸猪建议

- 在卸猪过程中,应按小群(4-5头猪)移动以:
  - 尽量减少应激反应。
  - 加快卸猪速度。
- 使用适当的转猪工具卸猪。
  - 不要使用电棒。如果使用,不应将电棒作为主要工具,且应该在不超过10%的猪身上使用。
  - 使用赶猪板、赶猪拍和赶猪旗子。
- 使用卸猪坡道,这有助于最大限度地减少猪的压激。
  - 理想情况下,应避免下降或倾斜,但如有必要,坡道的倾斜度应不超过20度。
  - 坡道的坡面应防止猪滑跌。
    - 采用防滑钉或防滑材料。
    - 防滑钉应均匀分布。
- 确保卸猪区有适当的照明。
  - 猪在光线充足而没有重大光线变化的区域更容易移动。
  - 当猪从卡车进入待宰区时,合适的照明至关重要。
    - 当卡车在户外,无法安装照明设施时,这可能难以做到。
    - 应采用漫射灯并安装得足够高,以免光源对猪产生干扰。
      - 如果无法将灯安装在高处,则应使用单向照明,以免光源对猪产生干扰。
- 确保(从卡车到围栏)有一条便于猪移动的通道。
  - 在开始卸猪之前,确保打开正确的栏门。
  - 清除通道上的所有物体,因为这些会对猪产生干扰。
  - 如果可能,避免90度或更大角度的转角。
  - 地面类型的变化、地面排水以及地面积水的倒影均会干扰猪并影响其移动。

### 3.3.6 待宰圈管理

猪在待宰圈(屠宰场内的待宰栏)的时间有助于减轻猪从离开猪场围栏到抵达待宰围栏出现的应激反应。应管理待宰圈的环境条件让猪感到舒适,而不产生任何额外应激。

一旦猪离开待宰圈前往致昏区,应激反应就无法进一步减轻。因此,对待宰圈的管理需有助于猪放松并克服此时产生的任何应激反应。

### 3.3.6.1 待宰圈管理建议

- 当猪在待宰圈静养时，温度和通风管理对于猪的舒适度很重要。
- 温度过高或过低均会让猪产生应激反应。
- 保持栏内温度与猪在猪场习惯的温度接近。
- 在炎热的天气 ( $> 27^{\circ}\text{C} / > 80^{\circ}\text{F}$ )，栏内应配备喷雾器为猪降温。
- 不要在温度低于  $16^{\circ}\text{C} / 60^{\circ}\text{F}$  时打开喷雾，因为这会增加应激。
  - 必须保持良好的通风，以防氨浓度过高和湿度过大让猪产生应激反应。
- 待宰圈的设计对于高效且无应激地移动猪以及让猪在宰前有充足的静养至关重要，这有助于减轻装猪、运输和卸猪造成的应激。
- 必须准备足够数量的栏位，以确保猪在卸猪后获得适当的静养时间。
  - 理想情况下，所有猪在卸猪后均应有3至12小时的静养时间。
  - 猪在屠宰前至少应静养2小时。
- 应尽量减少宰前仅静养了2至3小时的猪群数量（即该群猪当中的最后1-2批）。
- 让猪静养16至24小时或更长时间可能会导致胴体产量损失。
- 待宰圈内的围栏设置应方便将猪移入和移出。
  - 将进猪口和出猪口放在待宰圈相对的两端是理想选择。
  - 猪进出围栏的角度应小于90度。
  - 人字形设计是理想选择（图3.31）。

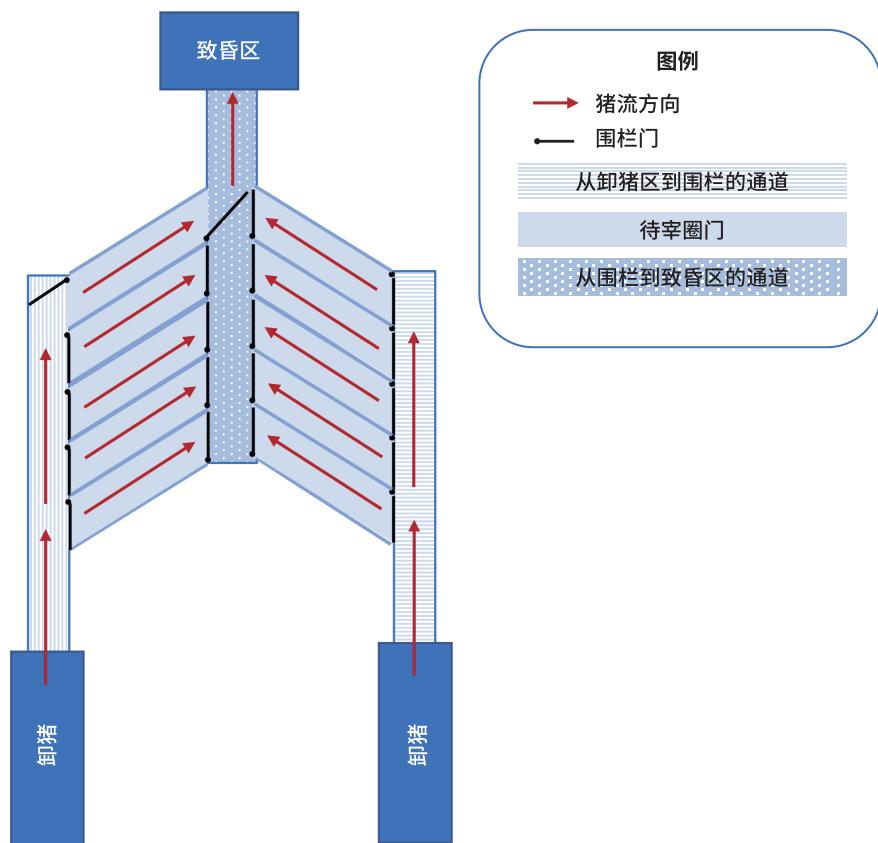


图3.31 人字形待宰圈设计

- 尽量减少卸猪区与围栏之间的距离,以及围栏与致昏区之间的距离。
- 围栏大小应足以容纳每组猪的数量。
  - 避免在同一围栏中混合不同来源的猪。
  - 待宰圈内的最小饲养密度应为每头猪 $0.56\text{ m}^2/6.0\text{ ft}^2$ 。
  - 必须调整待宰圈内每组猪的数量,以满足饲养密度建议。
- 确保整个待宰圈都有适当的照明。
  - 猪在光线充足而没有重大光线变化的区域更容易移动。
  - 采用漫射灯并安装得足够高,以免光源对猪造成干扰。
    - 如果无法将灯安装在高处,则应使用单向照明,以确保从运猪车向围栏或从围栏向致昏区移动猪时,光源不会对猪造成干扰。
  - 在从围栏到致昏区的“最后一段路”上提供适当的照明很关键,因为此时对猪造成干扰会导致应激反应且宰前无法消除应激影响。
- 地面类型的变化、地面排水以及地面积水的倒影均会对猪造成干扰,也会影响猪移动并让猪产生应激反应。

### 3.3.7 致昏

在所有对猪造成的应激中,致昏应激可能对肉品品质的影响最大。致昏期间不可能进行更多的干预。此时,猪产生的任何应激反应都会对肉品品质产生持久影响。

比起让猪整群移动至致昏机,让猪通过斜槽或“接猪栏”单列移动进入致昏机的方法(图3.32)让猪产生的应激反应更大。在操作单列式致昏系统时,即使有可能消除致昏和转猪产生的应激,也非常困难。较新的 $\text{CO}_2$ 致昏系统可让猪整群进入致昏机,更易于管理(图3.32)。致昏机设置不当还可能导致应激和/或猪肉瑕疵。



$\text{CO}_2$ 致昏单列移动的猪



$\text{CO}_2$ 致昏整群移动的猪

图3.32 进入致昏机的移动类型

### 3.3.7.1 单列猪移动管理建议

- 让猪单列移动以减少应激的关键是尽可能保持猪的持续移动。
- 在猪开始单列移动(坡道/接猪栏)前避免让猪产生应激。
  - 如果猪在进入接猪栏前出现应激反应,它们会变得很难移动。
- 保持猪从围栏到接猪栏的持续移动。
  - 如果猪一头跟着另一头,它们更有可能保持移动。
  - 猪移动的群体必须足够大才能保持连续性,但也不能过大,否则只有对猪施压才能继续前进。
    - 这可能需要不只一个员工将猪从围栏里带出来。
- 尽量减少使用电棒让猪穿过接猪栏。
  - 不应对已经在移动的猪使用电棒,因为这可能会让其停止移动。
- 确保从围栏到致昏机的路径上有适当的照明。
  - 在猪进入接猪栏和致昏机时,适当的照明至关重要。
    - 应采用漫射光且安装得足够高,以免光源对猪造成干扰。
    - 如果无法将灯安装在高处,则应使用单向照明,以免光源对猪造成干扰。
- 避免发出巨大的噪音,因为这会对猪产生惊吓(让猪发生应激)并阻碍猪的移动。

### 3.3.7.2 猪成群移动的管理建议

- 猪群的移动应该是连续的。无需为了跟上生产线的速度用力推猪。
- 在大多数情况下,从围栏中移出的猪群规模为CO<sub>2</sub>致昏机中2至3个吊笼的容量。
  - 如果吊笼可容纳7头猪,则一次应将14或21头猪移出围栏。
  - 然后,将猪在致昏机的自动推拉门处分成7只一群。
  - 基于大多数的CO<sub>2</sub>循环时间和待宰圈布局,这样安排应该可以保持生产线速度。
- 应对猪从围栏到自动推拉门的移动过程定时,以便猪到达自动推拉门门口时,不必等待就能进入。
  - 延迟进门会导致猪在停步后拒绝继续移动,并可能让猪产生应激。
- 确保从围栏到致昏机有适当的照明。
  - 在猪进入致昏机时,适当的照明至关重要
    - 应采用漫射光且灯的位置要足够高,以免光源对猪造成干扰。
    - 如果无法将灯安装在高处,则应使用单向照明,以免光源干扰猪。
- 避免发出巨大的噪音,因为这会对猪产生惊吓(让猪发生应激)并阻碍猪的移动。

### 3.3.7.3 电击致昏管理建议

- 电击致昏设备的设置和维护对于确保有效致昏每头猪至关重要。
- 从动物福利的角度来看,应将致昏机设定为对每头猪施加至少1.25 A的电流,才能有效致昏。
  - 在恒定安培数电击致昏系统中,安培数应设置为1.25 A。
  - 对于恒压系统,假设平均电阻为250 Ω,电压需要设置为313 V才能提供必需的1.25 A。
    - 根据电阻的变化,可能需要增加电压才能确保有效致昏。
- 对猪通电至少3秒,不超过5秒。

- 以上设定为起始点。根据需要调整每个系统的设定，以确保有效致昏并最大程度地减少胴体瑕疵（骨碎、肌肉淤血和血液残留）。
- 电极需要定期清洁并在必要时更换。
  - 许多屠宰场研发了自己的电极，以实现最佳效果且便于更换。
  - 脏污或磨损的电极会使电阻增加200 Ω。
- 应对电击致昏系统的所有组件进行定期预防性维护，以确保其正常工作。
- 电极的放置对于确保有效致昏至关重要（图3.18）。
  - 头部电极应放置在猪的耳后且与猪的眼睛同一高度。
  - 头部电极不得用于颈部。
  - 如果使用头-心致昏，则心脏探头应放置在前腿后面。
- 应在致昏前对猪喷洒水雾以提高导电性。
  - 水会降低电阻，可在较低电压下对猪进行有效致昏。
- 应妥善维护含有V形限位器的电击致昏系统，仅将其用于符合限位器设计尺寸的猪。
  - 检查限位器传送带的速度，确保匀速移动。

#### 3.3.7.4 CO<sub>2</sub>致昏管理建议

- CO<sub>2</sub>浓度和暴露时间是确保有效致昏和最小化应激的两个最关键因素。
- CO<sub>2</sub>浓度决定了猪失去知觉的速度。接触（或停留）时间对于确保猪保持丧失知觉的状态很重要。
  - 吊笼首次停靠时的CO<sub>2</sub>水平应该足以使猪在接触气体20秒后停止动作和发声。
    - 正常情况下，CO<sub>2</sub>浓度需要达到88%，但在某些情况下，浓度可能需要高达96%。
    - CO<sub>2</sub>浓度低于88%可能会使猪失去知觉，但很少会在20秒内诱导昏迷。
    - 每个CO<sub>2</sub>系统的安装设置可能不同，因此一间屠宰场采用的正确CO<sub>2</sub>浓度可能不适用于另一间屠宰场。
    - 天气转冷（< 7°C / 45°F）后，可能需要增加CO<sub>2</sub>浓度。
      - 如果猪没有足够快地失去意识或中途恢复知觉，则可能需要增加CO<sub>2</sub>浓度。
    - 应了解CO<sub>2</sub>传感器的位置。
- 接触CO<sub>2</sub>的时间应该足以让猪在宰前保持无知觉状态，但不会增加宰后放血的难度。
  - 接触时间少于90秒可能会导致猪在宰前恢复知觉，即使CO<sub>2</sub>含量高达95%，也是如此。
  - 接触时间超过180秒可能会导致放血问题，使胴体表现出尸斑。
  - 为保持生产线速度，可能需要增加或减少每个吊笼的装猪数量，具体取决于停留时间的长短变化。
    - 切勿为减少停留时间在吊笼中装入超过推荐数量的猪。
    - 为了减少停留时间，停用某一个吊笼可能是保持生产线速度和避免改变每个吊笼内猪只数量的有效选择。
- 切勿在每个吊笼上装入超过推荐数量的猪。
- 定期检查CO<sub>2</sub>传感器，确保其正常工作。

#### 3.3.8 放血

及时放血（刺杀/放血）很重要，以便让猪失血死亡。如果延迟放血，猪可能会恢复知觉，这从动物福利的角度来看是不可接受的。及时放血对于确保从胴体中最大程度地回收血液也很重要。延迟放血会导致血液凝固，阻碍血液从胴体中排出。

### 3.3.8.1 放血建议

- 放血的时间选择取决于电击致昏的类型。
- 经仅头部可逆电击致昏的猪应在致昏后10秒内放血。
- 经不可逆头身致昏导致心脏颤动的猪应在致昏后30秒内放血。
- 经CO<sub>2</sub>致昏的猪应在60秒内放血。如果可能，应不超过90秒。
  - 时间是按从吊笼内的猪全部出舱到最后一头猪放血为止计算。
- 使用适当的设备和程序。
- 使用刀刃为15至20 cm (6至8 in) 长、2.5 cm (1 in) 宽的双刃刀，保持刀刃锋利(图3.33)。

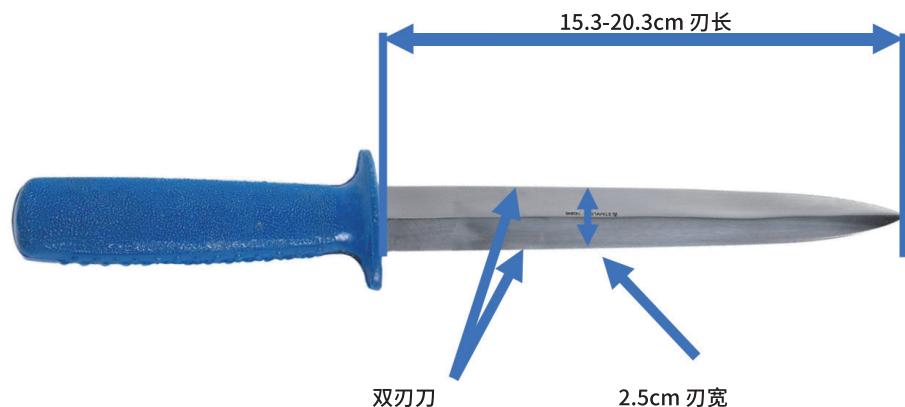


图3.33 用于放血的刀

- 将刀插入胸骨上方凹陷处的中线，并指向心脏以切断心脏附近的主要血管。
- 刺入后，将刀旋转90度后再拔出。
  - 这会形成“T”形伤口，可防止血液凝固。
- 刀口宽度应在2.5至3.7 cm (1至1.5 in) 之间。
- 在放血过程中使用撞头杆。
  - 第一根撞头杆的放置应使胴体刺杀后1分钟内撞击该杆。
  - 在第一根撞头杆之后，胴体应每30秒撞击另一根撞头杆。为此，应根据需要安装额外的撞头杆。
- 由于大部分血液在放血后4分钟内排出，因此不必让胴体在放血链上停留超过5分钟。

### 3.3.9 致昏至冷却

从胴体温度的角度来看,致昏至冷却的时间至关重要。大多数现代屠宰场的冷却时间在25至45分钟之间。在此期间,脱毛程序(烫毛和燎毛)可能会给胴体带来额外的热量。去除内脏对于胴体散热非常关键。如果管理不当,用缓冲器(轨道)填补没有悬挂胴体的钩环会影响致昏至冷却的时间。这也会影晌宰后初期的温度下降速度。必须尽快让胴体进入冷却流程,并限制接触可能导致胴体温度升高的热源。

#### 3.3.9.1 致昏至冷却建议

- 管理致昏至冷却的时间。
  - 致昏至冷却时间应不超过45分钟。
  - 尽量减少生产线停工,这会增加致昏至冷却的时间。
    - 对设备进行适当的预防性维护可预防部分生产线中断的情况。
  - 考虑避免或尽量少用缓冲器,因为它们会增加致昏至冷却的时间。
  - 避免未参与任何流程的“无效”生产线空间。
- 控制胴体的外来热量。
  - 将烫毛的水温降至可有效去毛的程度。
    - 烫毛持续时间会影响有效去毛所需的温度。
      - 烫毛时间短可能需要稍高的温度。
    - 这通常是一个反复试验的过程,需要通过降低或升高温度来确定有效去毛所需的最低温度。
    - 浸烫池烫毛时,60°C (140°F) 通常足以在正常条件下有效去毛,烫毛时间为6至8分钟。
    - 在猪毛较硬的季节或宰杀红毛或黑毛比例较高的猪时,温度可能会升高至61°C (142°F)。
    - 在生产线中断期间,尽可能将猪从烫池中移出。

### 3.3.10 胴体冷却

胴体冷却是影响肉品品质的最终关键环节。到目前为止,PIC蓝图中介绍的每一项肉品品质管理流程都以前序流程为基础。在某些情况下,后续管理可一定程度上挽救先前控制过程中的失误(如,在发生运输应激后,让猪在待宰圈内静养)。然而胴体冷却不同。

一流的胴体冷却处理也不能纠正此前出现的问题(如,在开始屠宰前猪发生了过多应激)。正常冷却能够保持冷却开始前已经达到的肉品品质水平。而相对的,即使遵循肉品品质蓝图的其他部分,冷却不当也会导致肉品品质不佳。

并非所有工厂都有急速冷却设施,但仍然可以采用常规冷却系统来提高肉品品质和/或最大限度地减少肉品品质损坏。

### 3.3.10.1 一般冷却建议

- 为获得最佳肉品品质,腰部的核心温度在宰后1.5至2小时应低于32°C (90°F),在宰后4至5小时应低于13°C (55°F)。
- 为获得最佳肉品品质,后腿的核心温度在宰后3.5至4小时应低于32°C (90°F),在宰后7至8小时应低于13°C (55°F)。
- 为获得最佳肉品品质,肩部的核心温度在宰后2至3小时内应低于32°C (90°F),在宰后7至8小时应低于13°C (55°F)。

### 3.3.10.2 脱体急速冷却建议

- 适当的急速冷却需要低温和快速空气流动。
- 调整温度和空气流速的组合可提高胴体冷却速度。
  - 例如,-15°C (5°F) 和10 m/s (33 ft/s) 可产生与-25°C (-13°F) 和5 m/s (16.5 ft/s) 相同的胴体冷却曲线。
- 急速冷却时,需将胴体间隔开,保证胴体之间的空气流动,增强对流冷却。
- 在急速冷却前30至60分钟以最低温度和最高空气流速进行对流冷却时,冷却速度最佳。
- 将气流引导到选定的初分割肉块上可提高冷却速度。
- 急速冷却时,胴体表面会形成一层薄薄的冰层(壳)。
- 耳朵和下颌可能会冻硬,但大分割肉块(例如中方肉)内部不应发生冻结。

### 3.3.10.3 脱体冷藏建议

- 常规冷却的胴体立即进入冷藏间,而急速冷却的胴体在极速冷却流程后进入冷藏间。
- 在冷藏过程中,温度、气流速度和胴体间距在胴体冷却中起着关键作用。
  - 通常情况下,冷藏阶段的温度范围应为-1至2°C (30至36°F)。
    - 在冷藏的前半段温度通常较低,然后在后半段升高,以确保快速降温。这有助于避免冷却后难以对胴体进行初分割和精分割。
    - 如果能够达到,温度在低于-1°C (30°F) 时可提高胴体冷却速度。
      - 对于常规冷却尤其如此。
- 在冷藏阶段,必须用气流带走胴体上的热空气。
  - 气流速度一般低于3 m/s (10 ft/s)。
  - 在冷藏的前10至12小时后,风扇速度应降至50%或以下,以防胴体完全变干。
- 适当间隔胴体,以获得最佳冷却效果。
  - 建议胴体挂钩之间至少间距23 cm (9 in)。
  - 两列之间的区域应至少间隔0.61 m (24 in),确保在冷却过程中胴体之间有足够的气流。
- 在冷藏时喷洒水雾可改善冷却曲线。
  - 常规冷却时,应考虑喷洒水雾。
  - 胴体间距不足时,应考虑喷洒水雾。

## 第四节

# 猪肉脂肪品质



虽然如前所述，瘦肉品质很关键，但脂肪品质（硬度是最好的评判标准）也影响着整体肉品品质。很多部位（例如五花肉、肋骨）都含有可食用的脂肪，脂肪也作为待修整成分覆盖着初分割肉和去骨肉块。

软脂肪通常会导致脂肪层分离，且可能是造成后腿肌肉和肩部肌肉分离的部分原因。有研究表明，五花肉上的软脂肪会降低普通培根和微波用培根的切片产量。一般来说，软脂肪会影响包装猪肉的产品外观。软脂肪会使培根看起来油腻/潮湿或透明，真空包装时切片不清晰，并导致氧化速度更快（酸败）。软脂肪还会影响香肠产品外观，并会降低博洛尼亚香肠等乳化肠的产量。通常，软脂肪会降低产品的“可加工性”和外观，增加酸败倾向。

脂肪也是猪肉风味的一个组成部分。在一些产品中，例如西班牙伊比利亚火腿，脂肪是通过日粮配方控制的，目的是获得更高的C18:1脂肪酸水平，增强猪肉的风味特征。相反，如果饲喂某些油类日粮（如鱼、亚麻籽），脂肪酸组成中长链（> 20个碳）多不饱和脂肪酸的比例更高，这可能会使猪肉闻起来或尝起来“有鱼腥味”。

在过去30年里，商品猪变得更瘦，脂肪品质已成为定义胴体价值的关键性状之一。在过去几年里，饲料价格上涨，人们越来越关注脂肪品质。成本最低的日粮配方中所使用的成分有时会影响脂肪品质和五花肉的价值。

本节将介绍脂肪的测量、脂肪品质的影响因素以及脂肪品质的管理方法。

## 4.1 脂肪品质测定

### 4.1.1 关键指标

脂肪硬度评估可以使用化学或物理测量法。化学测量需要实验室分析，而部分物理测量数据可在屠宰场内收集得到。例如：

#### 硬度测定化学法

##### 1. 碘值 (IV)

- a. 与脂肪硬度直接相关；
- b. 目前是评估脂肪硬度的“黄金标准”；
- c. 脂肪样本吸收的碘量代表不饱和脂肪的测定值；
- d. 以脂肪酸中的双键数量确定不饱和脂肪酸水平。

##### 2. 脂肪酸分析

- a. 不同脂肪酸的比例与碘值有直接关系，并且会影响碘值。
- b. 某些脂肪酸可用作脂肪硬度指标。

#### 硬度测定物理法

##### 1. 脂肪颜色

- a. 脂肪颜色对硬度的指示作用。
  - i. 脂肪越白越硬，越黄越软。
- b. 亚油酸（一种不饱和脂肪酸）使脂肪呈黄色。

##### 2. 初步测量

- a. 用于评估硬度的主观测量。
- b. 包括对五花肉进行翻折/弯曲以及测量五花肉的厚度。
- c. 脂肪越硬，五花肉越厚、越少弯折或下垂。

##### 3. 培根切片产量

- a. 五花肉脂肪越硬，切片产量越高。
- b. 如果在切片前未彻底冷却经烹饪的五花肉，则可能无法检测到硬度对切片产量的影响。

### 4.1.2 猪肉脂肪品质测定

#### 4.1.2.1 碘值和脂肪酸

如上所述，碘值是衡量脂肪中脂肪酸不饱和度的值，表示为100g脂肪样本吸收的碘量。不饱和脂肪酸含有双键，每一个双键都会吸收碘。

韦氏 (Wijs/Hanus) 法用于直接测定碘值。一些实验室仍在使用韦氏法。虽然被认为已经过时，但与较新的技术（如气相色谱 - GC 和近红外光谱 - NIR）相比，韦氏法更节省人力和/或速度更快。

气相色谱法不直接计算碘值，而是确定每种脂肪酸的含量，再通过美国油脂化学家协会 (AOCS) (1998) 方程计算脂肪样本中的碘值：[IV = (%C16:1 \* 0.95) + (%C18:1 \* 0.86) + (%C18:2 \* 1.73) + (%C18:3 \* 2.62) (%C20:1 \* 0.79) + (%C22:1 \* 0.723)]。

由于气相色谱法给出单独的脂肪酸浓度，这些浓度可用于估测脂肪硬度。在大多数常规猪日粮中，亚油酸含量(C18:2)是普遍存在的多不饱和脂肪酸，对脂肪硬度有负面影响。亚油酸含量被一些人用来代替碘值，但由于日粮不断变化，使用碘值更可靠。AOCS方程中未考虑的非传统成分可能会被加入日粮并影响脂肪硬度。

多年来，气相色谱法被认为是脂肪品质分析的“黄金标准”，因为它非常准确，但也非常昂贵(40-100美元/样本)，具体价格取决于实验室。此外，样本分析取得结果需要的时间通常很长(比如，2周)。

近年来，行业绝大部分已转向利用NIR技术进行脂肪品质分析。NIR脂肪品质分析快速、准确且价廉，尤其是在进行常规分析时。大多数进行常规脂肪品质分析的美国屠宰场使用内部NIR机器测定脂肪品质。

美国的NIR机器价格通常为9万至10万美元，但由于无需通过外部实验室进行脂肪品质分析，初始投资很快就能回本。NIR机器还可用于大多数屠宰场常规执行的其他常见实验室程序。如果采集大量样本进行常规脂肪碘值分析，一般在1至2年内会产生投资回报。

进行NIR分析的两种主要方法包括固体或液体脂肪分析。固体脂肪分析只需要极少的样本制备工作，而液体脂肪分析的样本必须在分析前熔化。与气相色谱法的计算结果相比，这两种方法都非常准确。

在PIC的内部研究中，NIR固体脂肪分析与气相色谱法结果的相关性为0.97，NIR液体脂肪分析与气相色谱法分析的相关性为0.99。考虑到液体分析熔化脂肪需要额外的人力才能略微提高准确性，且样本通量和/或人力成本也高，因此，首选固体脂肪分析法是明智的。

取样是碘值和脂肪酸分析的另一个关键方面。首先，采样位置要保持一致。在胴体上选择一个位置采样后，要保持采样一致性，以确保对相同的脂肪层进行采样和分析。通常的三个采样位置为五花、肩颈/大排背膘和下颌。五花和肩颈/大排背膘的脂肪样本相对容易采集，但采集的样本太大会对胴体价值产生负面影响。

五花脂肪和肩颈/大排背膘的碘值通常与其脂肪品质相关。猪育肥期最后4至6周的营养变化会对这两个位置的生长产生影响，并影响脂肪品质。下颌脂肪易于采集，对胴体价值的破坏性较小。下颌脂肪的碘值对屠宰前最后4至6周内日粮中的营养变化并没有那么强的指示作用。综合考虑之下，五花肉脂肪或肩颈/大排背膘是推荐的采样位置。

最好在胴体冷却后采集样本，以便提高精确度，减少对胴体的破坏性。使用小刀、手术刀、剪切机或取芯器采样。大多数屠宰场要求采样员在使用小刀或手术刀时穿戴个人防护设备(PPE)，但在使用剪切机或取芯器时可能无需PPE。用刀采样不太精确，且可能会损坏胴体或初分割肉块。使用手术刀刀片更精确，破坏性更小，但可能很耗时。取芯器快速精确，可实现一致性采样，对胴体的损坏最小。将取芯器与无线电钻结合使用(图4.1)是最有效的采样方法之一。PIC建议让样本带皮，因为皮肤可作为样本分析的参照点，尤其便于选取同一脂肪层进行测量。



图4.1 安装在钻头上采集脂肪样本的取芯器

在判断群体的特征时,收集的样本应能够代表整个群体。因此不要从过轻或过重的胴体上采样,也不要只采集位于平均水平的胴体。为了把差异纳入计算,应在胴体重平均值的两个标准差内进行采样,且应该对不同性别取得相同的样本量。在所有采样中只采集单一性别通常也是可以接受的,但需要与其他混合性别或异性数据进行比较时需要考虑到这一点。

下一个要考虑的因素是要采集的样本量。碘值因猪而异,特征是有较高的标准差。在大多数商品猪中,标准差范围为2.4至4.0个碘值单位。许多人认为1.0个碘值单位的变化才具有实际意义,因此能够检测出统计上有效的1.0个碘值单位的变化是极其重要的。

表4.1为在不同总体标准差和样本量之下,统计上可检测出的差异。由该表可见,当使用80个样本时,分析组之间的可检测差异范围为1.1至1.6个碘值单位,具体取决于标准差。根据该表,80个样本为获得统计上有效结果所需的样本下限,同样取决于标准差。

表4.1 基于样本量和碘值标准差的碘值(表体)的可检测差异

样本量	碘值标准差				
	2.50	2.75	3.00	3.25	3.50
10	3.1	3.5	3.8	4.1	4.4
20	2.2	2.4	2.7	2.9	3.1
40	1.6	1.7	1.9	2.0	2.2
80	1.1	1.2	1.3	1.4	1.6
100	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4
150	0.8	0.9	1.0	1.1	1.1
200	0.7	0.8	0.8	0.9	1.0
250	0.6	0.7	0.8	0.8	0.9
500	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6
1000	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4

要考虑的另一个方面是如何进行数据组之间的比较。如果以周为单位进行比较来检测变化，每周至少需要采集80个样本。但是，如果以月为单位来检测变化，则每周至少需要采集20个样本。

#### 4.1.2.2 脂肪颜色

多不饱和脂肪酸水平较高会导致碘值水平较高和脂肪硬度较低，也会导致β-胡萝卜素含量增加，使脂肪由白色变为淡黄色。因此，脂肪颜色评估对脂肪硬度具有指示作用。

通过用色差仪确定CIE L\*、a\*、b\*值，可客观地测定脂肪颜色，L\*值较低和b\*值较高表明脂肪硬度较低。此外，也可以使用日本标准比色卡的主观评分系统（图4.2）确定脂肪颜色。日本猪肉脂肪颜色标准采取4分制，1分为白色，4分为淡黄色/棕褐色。该颜色标准虽然可在线 ([http://hamukumi.lin.gr.jp/color\\_standard.html](http://hamukumi.lin.gr.jp/color_standard.html)) 购买，但如果没日本相关方的帮助，可能很难买到。



图4.2 日本脂肪颜色标准

#### 4.1.2.3 硬度/脂肪品质的初步测量

大多数初步评估采用五花肉，但也有些评估用大排肌肉和肩颈肉。五花肉硬度最常见的客观衡量指标是其翻折或弯曲的情况。这种方法有许多不同的变体，但基本前提都是将五花肉挂在测杆上，测定五花肉在测杆两侧的下垂程度。为此，可以测量五花肉两末端之间的距离，也可以测量在测杆下方标准距离处五花肉两侧之间的距离（图4.3）。有一点很重要，在测量之前要将五花肉放平，且在放上测杆之前不要折叠。

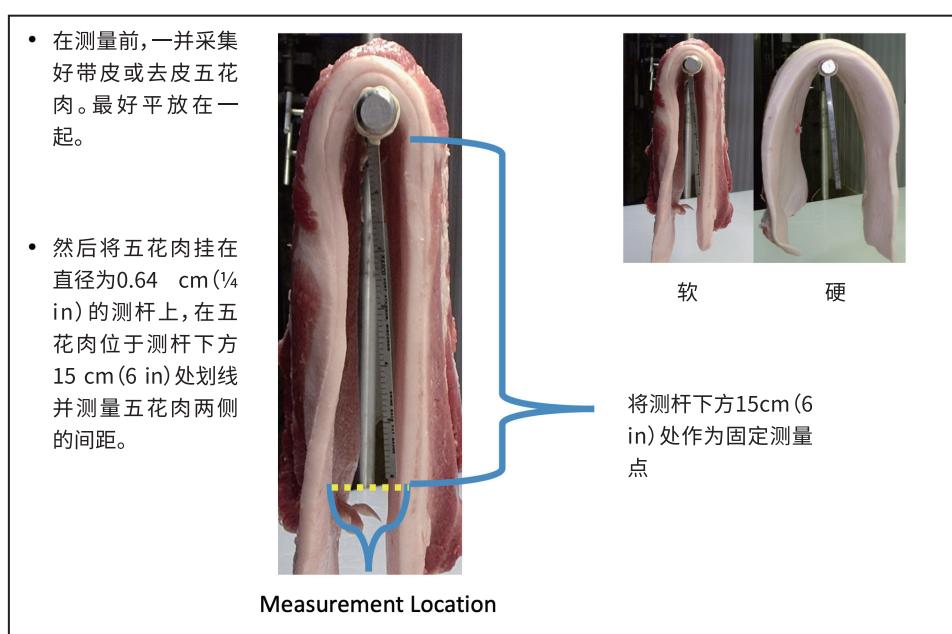


图4.2 日本脂肪颜色标准

在同样的前提下,现已开发出许多专有的主观评分系统。例如,通过握住肉块并弯折,测量五花肉或大排肌肉硬度。这些方法很粗糙,但可以区分这些主要肉块的脂肪品质好坏。此外,还基于肩颈肉保持形状的程度,开发了肩颈肉硬度评估。

在使用上述所有的脂肪品质测量方法时,均必须保持被评估产品的恒定温度,因为脂肪在较低温度下通常比在较高温度下更硬。

有时也会使用其他测量值包括五花肉重量/产量和五花肉厚度。重量更大、产量更高的五花肉通常更硬,明显更瘦的五花肉除外。而越厚的五花肉通常较硬,因为较厚的五花肉往往更肥、更重。

#### 4.1.2.4 培根切片产量

若要确定脂肪品质不佳造成的经济后果,通常采取培根切片产量检测。这些切片产量检测通常在商业条件下进行,评估不同类别培根的重量产量。这些检测不容易进行,因为在商业切片环境中对单块五花肉进行跟踪很困难。因此,这些检测通常以多块五花肉为一组或一批进行。

加工条件,如切片时的五花肉温度和抽吸比例也会影响脂肪品质的验证。例如,如果五花肉冷却不佳和/或过度抽吸,无论脂肪是硬还是软,切片产量都会很差。虽然难以进行且不是常规的脂肪品质评估方法,但切片产量检测有助于评估改变猪日粮对提高脂肪硬度的经济影响。

## 4.2 影响脂肪品质的因素

许多因素会影响脂肪成分和品质,包括遗传、日粮、营养、胴体组成、年龄、体重、性别、脂肪的解剖位置以及生长速度。其中,营养是影响脂肪品质的关键因素。本节将综述影响脂肪品质的因素。

#### 4.2.1 脂肪品质生物学

了解脂肪化学对于了解影响基本脂肪品质的因素至关重要。脂肪由多种成分组成,包括脂肪(甘油三酯,或甘油和脂肪酸的组合)、水和蛋白质。脂肪酸可根据其化学结构或饱和度分为三类:1) 饱和脂肪酸(无双键),2) 单不饱和脂肪酸(1个双键),3) 多不饱和脂肪酸(2个或2个以上双键)(图4.4)。脂肪酸的饱和度决定了脂肪的熔点(硬度)。高饱和脂肪(较硬)的熔点高于不饱和脂肪(较软)(图4.5)。

日粮脂肪和碳水化合物是哺乳动物的长链脂肪酸来源,用于合成脂肪。日粮脂肪很容易转化为胴体脂肪。以这种方式形成的胴体脂肪具有日粮脂肪的一般特征(软日粮脂肪=软胴体脂肪)。人们常说,“猪吃什么就是什么样”。

日粮碳水化合物转化为体脂肪的过程称为脂肪酸的从头合成。这会形成饱和与单不饱和脂肪酸,从而产生更硬的胴体脂肪(更低的脂肪碘值)。尽管日粮碳水化合物用于合成脂肪酸,但猪在内的大多数哺乳动物无法通过从头合成,在脂肪酸中 $\Delta 9$ 的位置插入双键。因此,猪能从碳水化合物中形成的只有饱和与单不饱和脂肪酸,需要从日粮脂肪来源摄入必需的脂肪酸(多不饱和脂肪酸,如亚油酸),才能将多不饱和脂肪酸融入胴体的脂肪成分中。

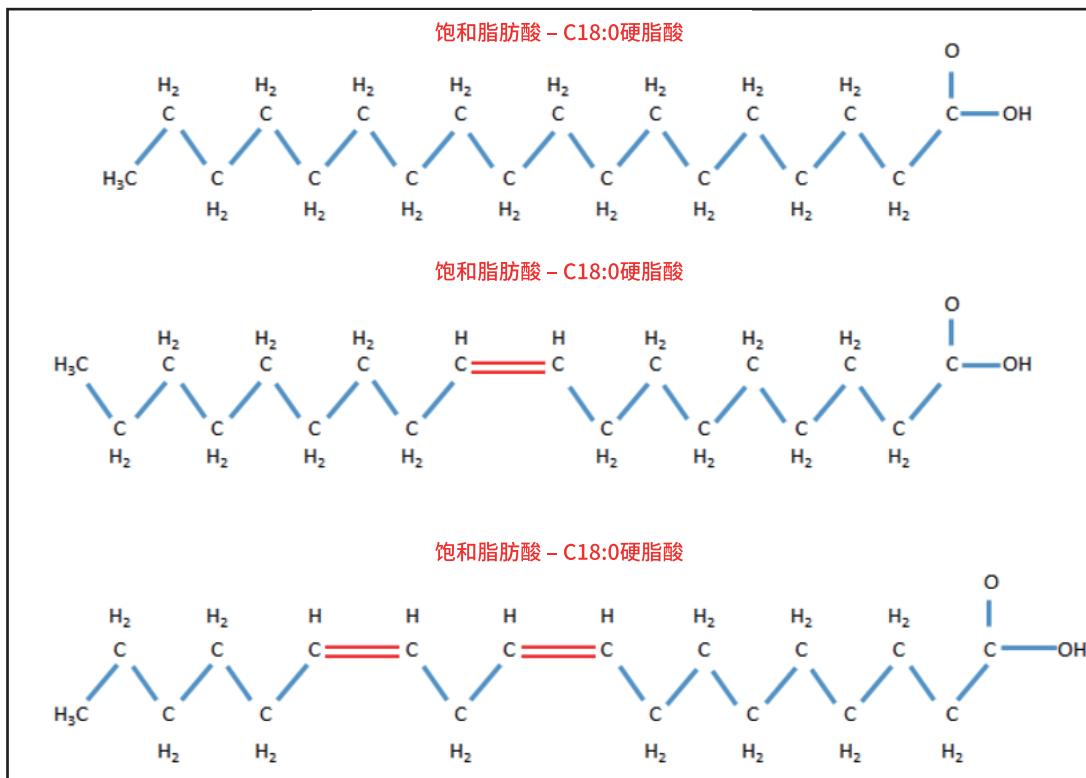


图4.4 脂肪酸分类

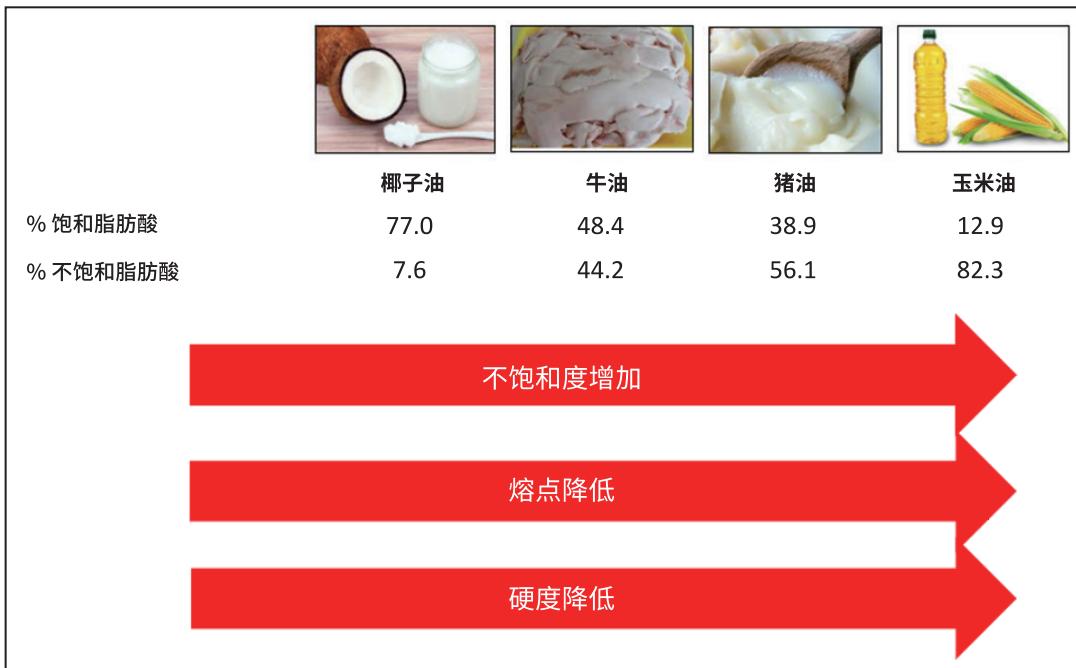


图4.5 脂肪酸组成如何影响各种脂肪的物理性质

添加日粮脂肪会改变甚至停止脂肪的从头合成。日粮中脂肪百分比逐步增加会进一步抑制脂肪酸的从头合成，导致饱和脂肪沉积减少(变软)。当日粮脂肪的脂肪酸结构变得不那么饱和(变软)，猪的活体脂肪(和胴体脂肪)饱和度也会降低。

猪脂肪中的脂肪酸成分可能会有很大差异。表4.2列出了单一生产系统中16000多头猪的平均脂肪酸分布和方差分量。这些数字表明，猪脂肪是可变的，并受到许多因素的影响。

表4.2 单一生产系统中脂肪酸及碘值的平均值和差异<sup>a</sup>

项目	平均值	最小值	最大值	标准差
C14:0	2.24	1.06	6.96	0.50
C16:0	24.60	18.79	33.65	1.84
C16:1	3.27	1.35	8.26	0.75
C18:0	8.10	3.57	15.87	1.37
C18:1	40.71	27.44	50.41	2.85
C18:2	16.87	5.88	31.67	3.52
C18:3	0.91	0.06	2.15	0.28
IV	69.67	57.64	90.02	4.99

<sup>a</sup>数据来自16600头猪，这些猪的饲料以玉米豆粕为主，含脂肪添加和副产品(如DDGS)。这些成分的比例不是恒定的，会随着时间而变化。

#### 4.2.2 对脂肪品质的非营养性影响

研究表明，猪的基因型会影响脂肪硬度。已有研究报告了几种脂肪酸的遗传力估计值(一个性状的基因累加效应占群体总表型变异的比例)。这表明脂肪酸组成和脂肪品质存在遗传变异(表4.3)。

表4.3 脂肪酸的遗传力估值(Suzuki等, 2006)

脂肪酸	遗传力估值 <sup>a</sup>			
	OSF	ISF	INMF	ITMF
C14:0	0.07	0.15	0.18	0.09
C16:0	0.50	0.30	0.79	0.32
C16:1	0.20	0.36	0.22	0.20
C18:0	0.54	0.51	0.51	0.40
C18:1	0.26	0.28	0.44	0.36
C18:2	0.44	0.32	0.39	0.44
Melting point	0.56	0.61	-	-

<sup>a</sup>OSF = 外皮下脂肪； ISF = 内部皮下脂肪； INMF = 肌间脂肪； ITMF = 肌内脂肪。

研究已发现某些脂肪酸(C16:0、C18:0、C18:1和C18:2)和脂肪的熔点具有低(<0.20)、中(0.20-0.40)或高(> 0.40)遗传力。虽然基因型之间存在差异，但基因型之间脂肪硬度的大部分差异可归因于由基因型决定的肥胖程度。当肥胖程度增加，脂肪通常变得更饱和或更硬。

这与较肥的猪有更多的脂肪从头合成是一致的，脂肪的从头合成增加会产生更高比例的饱和脂肪酸。例如，瘦猪和肥猪（分别代表同一猪群较低或较高水平的背膘厚度）之间的差异对脂肪酸有显著影响，相当于大约9个碘值单位差异（图4.6）。其他研究在比较具有不同脂肪/瘦肉水平的遗传品系（表4.4）或评估背膘对碘值的影响时也发现了类似结果（图4.7）。

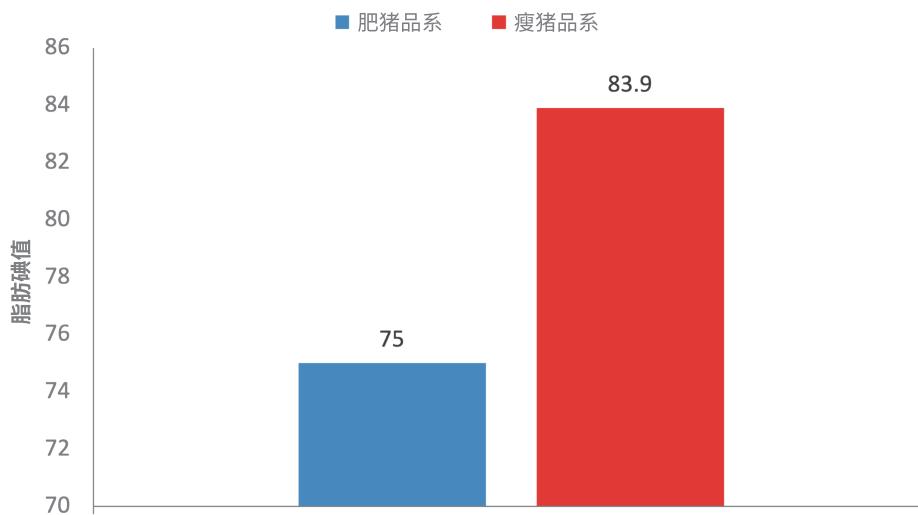


图4.6 从常见品系中选出瘦猪与肥猪并分别开发成两个不同的品系后，对脂肪碘值的影响（Scott等，1981）

表4.4 品种对碘值的影响

性状	Lo Fiego等，2005		Barton-Gade, 1997		
品种	长白x大白	杂交	大白	杜洛克	汉普夏
胴体重，kg	134.9	132.0	68.5	67.3	71.8
背膘厚度，mm	39.48	29.22	-	-	-
瘦肉率，%	-	-	54.3	56.0	56.8
碘值	65.2	69.7	61.0	66.0	66.0

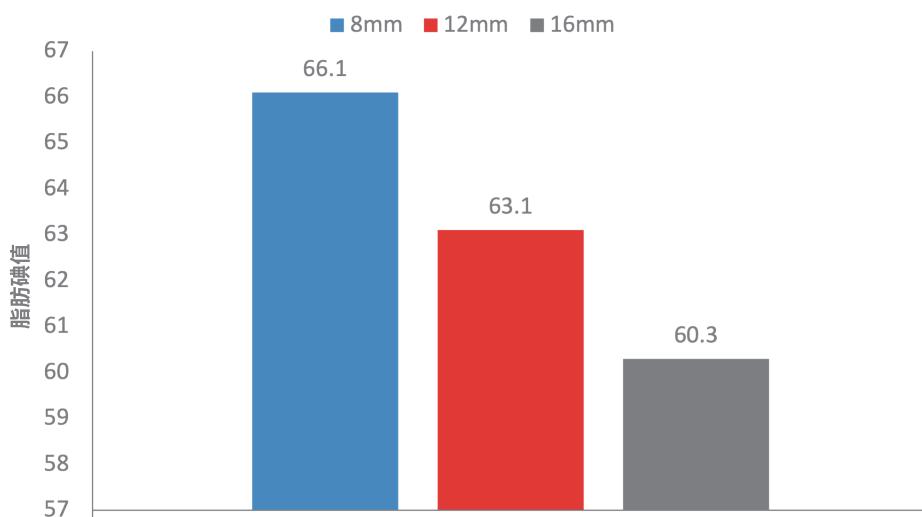


图4.7 背膘厚度对脂肪碘值的影响（Ellis和McKeith, 1999）

PIC研究表明,随着背膘水平的增加,碘值呈曲线下降(图4.8)。碘值线性下降至大约18 mm的背膘厚度,然后随着背膘增加到18 mm以上,下降速度减慢。

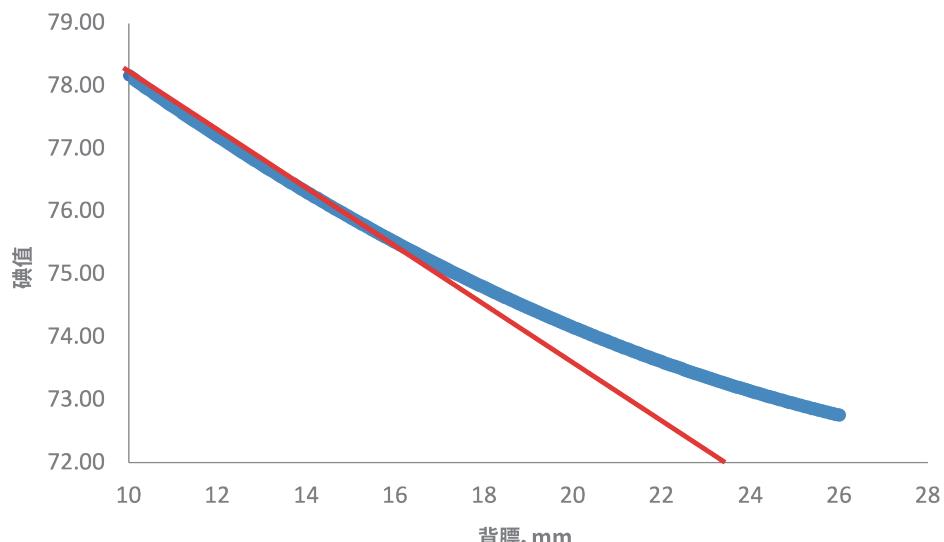


图4.8 背膘厚度对碘值的影响(Matthews等, 2018)

假设对背膘水平(或瘦肉率)、活重或营养配方相似的动物进行比较,大多数现代遗传品系之间的脂肪硬度差异应该很小。在比较PIC父系时,将主流行业中的两个极端品种:皮特兰和杜洛克进行比较。当饲喂相同的日粮且在相同的环境中饲养,未对背膘厚度进行调整时,皮特兰和杜洛克之间的差异约为1.6个碘值单位(图4.9)。根据背膘厚度进行校准之后,皮特兰和杜洛克之间的差异仅为1.1个碘值单位。

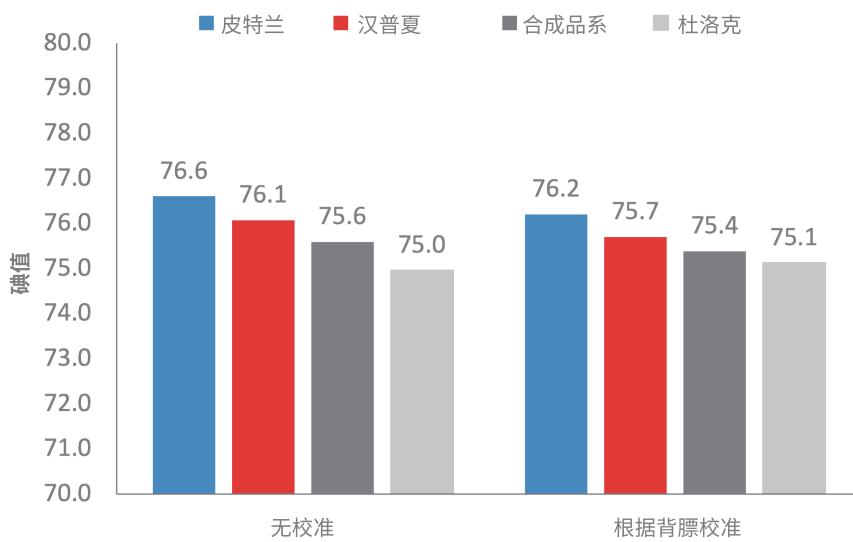


图4.9 父系对脂肪碘值的影响

由于脂肪水平对脂肪硬度有很大影响,预计猪的性别也会影响脂肪硬度。公猪的碘值最高,其次是后备母猪。阉公猪的碘值最低,免疫去势的公猪与后备母猪的碘值相当(图4.10)。在公猪和后备母猪的比较中,PIC研究表明两者五花肉脂肪有2.6个碘值单位的差异,背膘有2.7个碘值单位的差异(图4.11)。这与文献中的许多其他报告一致。需要注意的是,性别之间的差异大于上述品系之间的差异。

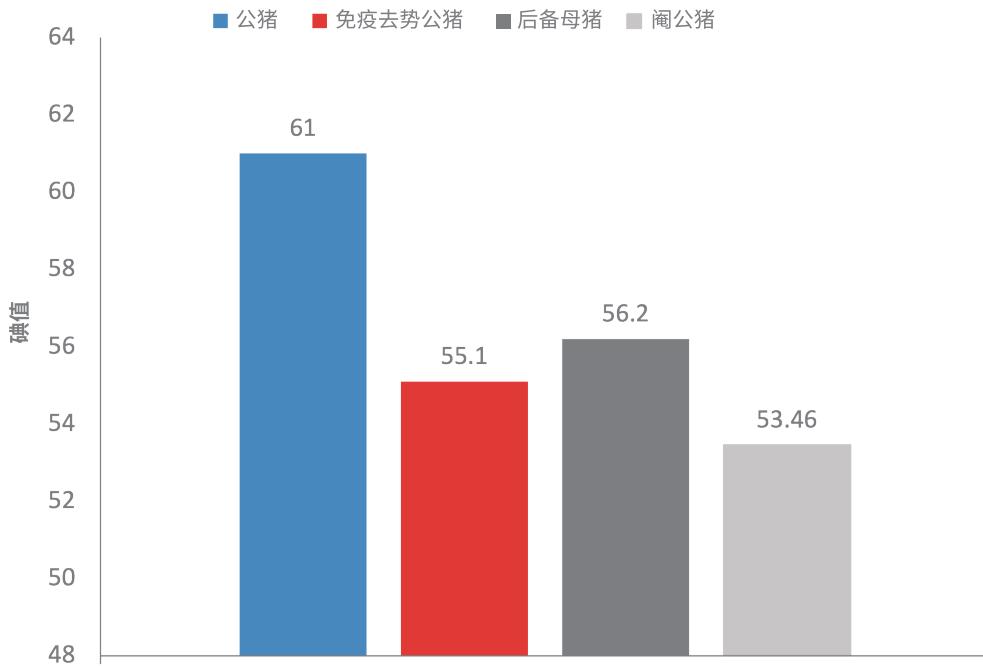


图4.10 性别对背膘碘值的影响(Grela等, 2013)<sup>a</sup>

<sup>a</sup>碘值是根据报告中的脂肪酸值计算的,因此没有提供统计数据。

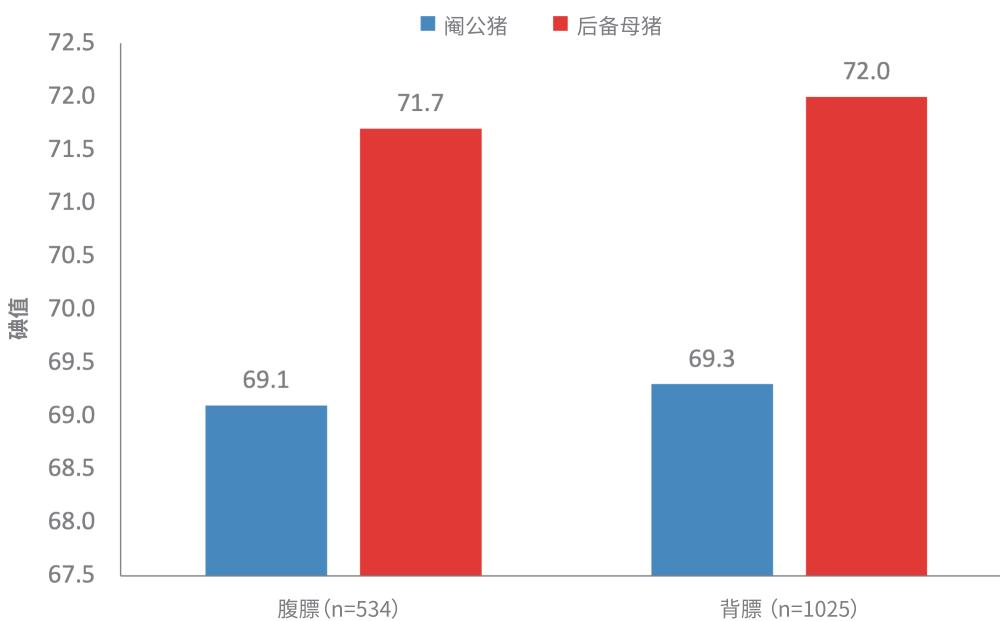


图4.11 性别(阉公猪与后备母猪)对脂肪碘值的影响(Matthews等, 2014)

脂肪的解剖位置也会影响其硬度。通常在获取碘值时，会从五花肉、背膘或下颌采集脂肪。下颌脂肪的碘值通常高于在五花肉脂肪或背膘中检测到的水平，但五花肉脂肪和背膘的碘值水平差异并没有明显不同，因而无法稳定区分。

虽然下颌脂肪的碘值水平更高，但许多研究人员在报告中表示，当通过营养干预提高碘值水平时，下颌脂肪的碘值变化不如五花肉脂肪或背膘的碘值变化大。PIC的研究结论是，下颌脂肪的碘值标准差低于五花肉脂肪的碘值标准差。测量下颌脂肪与五花肉脂肪时发现，阉公猪和后备母猪之间的差异较小。

在比较背膘的各个脂肪层时，碘值的差异也很明显。内部脂肪层的碘值低于外部脂肪层的碘值（图4.12）。鉴于这些差异，在建立标杆数据时，确保在同一位置测量碘值以保证一致性，这一点非常重要。

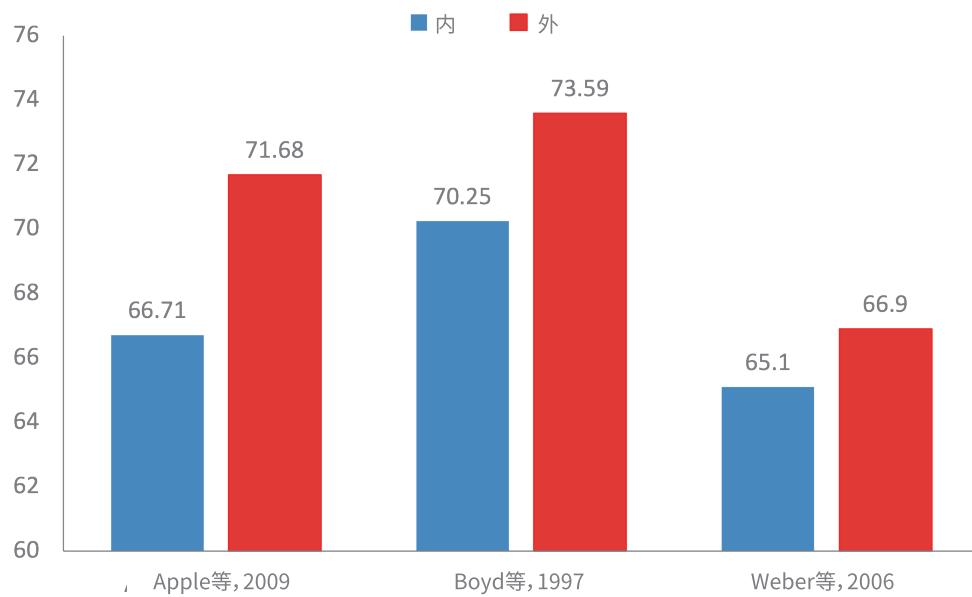


图4.12 背部脂肪层对脂肪碘值的影响<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Apple等（2009）的数据分析了3个背部脂肪层（内、中和外），而Boyd等（1997）和Weber等（2006）的数据仅测量了两层（内和外）。为了进行比较，在Apple等的数据中，中间层被当作内层，以便与其他研究人员保持一致，因为“真正的”内层通常不存在或只占背部脂肪层的一小部分。

长期以来，人们一直认为猪的日龄/体重增加会影响脂肪酸组成。从70日龄到220日龄，饱和脂肪酸增加，不饱和脂肪酸减少，这表明猪的日龄增加，脂肪变得更硬。一些研究表明，从107 kg到125 kg (236到276 lb) 的脂肪酸组成几乎没有差异，但其他研究报告称，脂肪硬度随着体重增加而增加，直至159 kg (350 lb)。

PIC的研究表明，如果背膘厚度保持不变，胴体重对脂肪碘值的影响很小（图4.13）。然而，PIC预计背膘厚度会随着热胴体重的增加而增加（≈1.2mm/5 kg）。因此，碘值随着热胴体重的增加而降低。由于碘值与背膘厚度的呈曲线关系，与体重较重（从胴体重100 kg增加到130 kg，每公斤胴体重的碘值约下降0.07个碘值单位）时相比，在体重较轻（当胴体重从60 kg增加到100 kg，每公斤胴体重的碘值约下降0.10个碘值单位）时，随着胴体重增加，碘值的下降幅度更大。

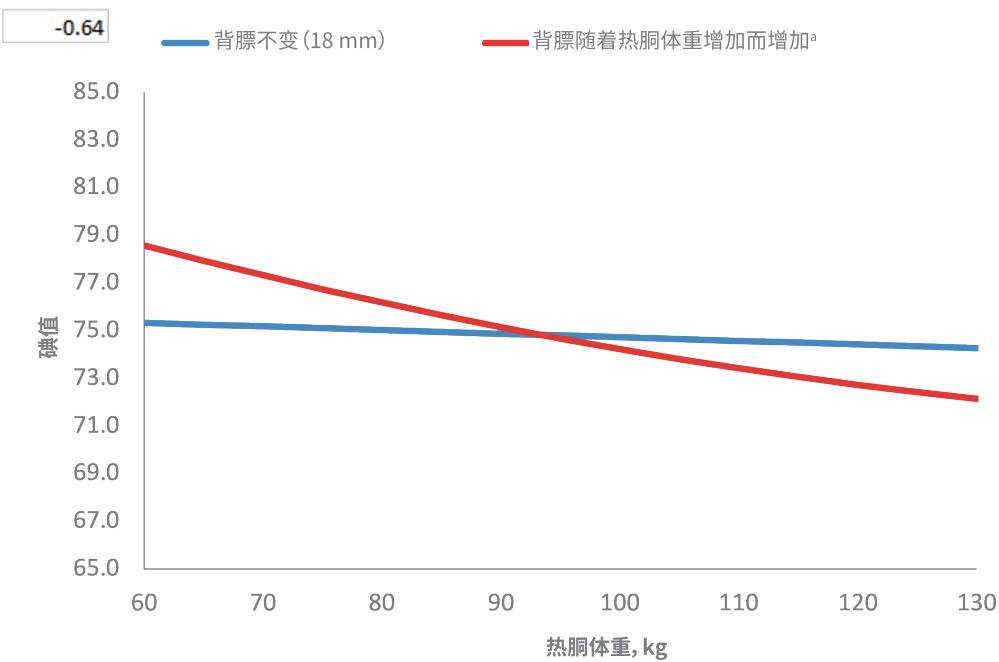


图 4.13 热胴体重对碘值的影响 (Matthews等, 2018)

<sup>a</sup>假设热胴体重每增加5 kg, 背膘增加1.2 mm

其他可能影响脂肪品质的因素包括猪的健康状况或饲养猪的一般环境条件。当猪以较高的饲养密度饲养时,热应激会升高五花肉脂肪的碘值水平(图4.14)。实例研究表明,生长较慢的病猪通常比生长较快的健康猪具有更高的碘值。这可能与生长较慢的猪体内脂肪酸从头合成减少有关。

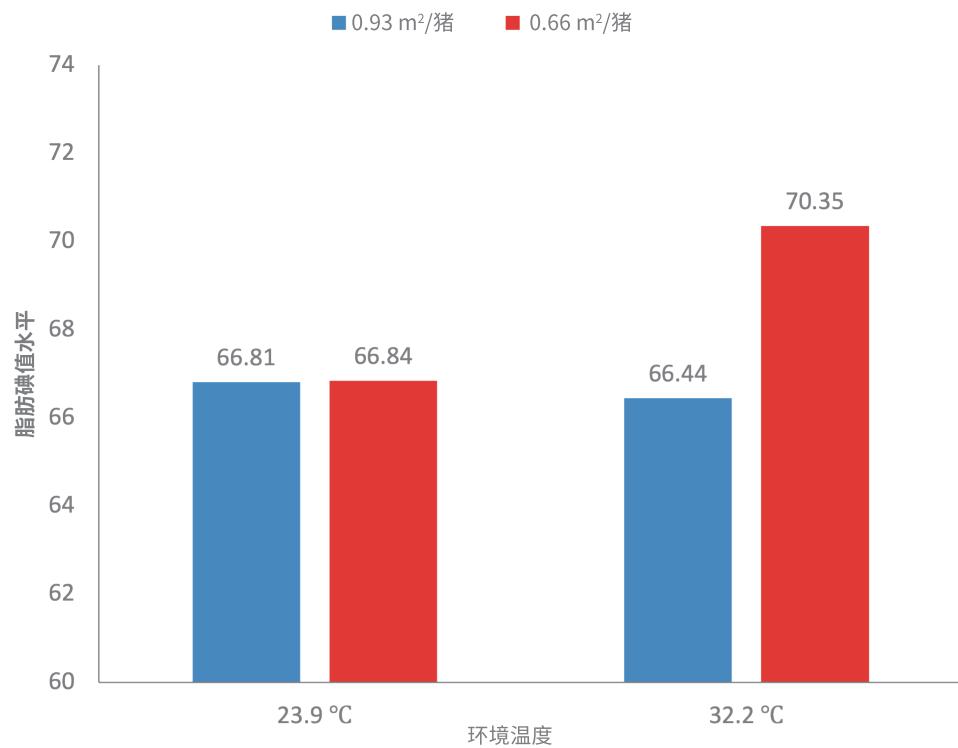


图4.14 热应激对五花肉脂肪碘值的影响 (White等, 2008)

#### 4.2.3 营养对脂肪品质的影响

日粮对脂肪品质的形成至关重要。文献中有大量评估日粮脂肪来源、脂肪来源的含量以及可能影响脂肪品质的饲料成分的研究。

添加任何饲料成分作为脂肪来源，均会以两种方式影响脂肪品质。首先，随着脂肪含量的增加，脂肪酸从头合成（饱和脂肪酸）减少。其次，饲料成分中脂肪的脂肪酸组成会影响猪的脂肪酸组成。这意味着饲喂含有高度不饱和脂肪酸的高脂肪日粮会产生软脂肪，而饲喂含有更多饱和脂肪酸的低脂肪日粮会产生硬脂肪。

酒糟（DDGS）等副产品会浓缩或增加脂肪含量，如果添加率过高或与其他高脂肪的饲料成分混合使用，则会对脂肪品质产生负面影响。随着脂肪成分（油、精选白油脂、牛油）的添加，对脂肪品质的负面影响越来越大，尤其当总体日粮脂肪水平升高时（即在其他脂肪来源外，额外添加脂肪成分）。此外，由于这些脂肪来源具有不同的脂肪酸特征（油是不饱和脂肪，而牛油较饱和），在日粮中以相同的比例添加会产生不同的效果。

此外，日粮形式（颗粒还是粉状）会影响脂肪品质。研究表明，将日粮制为颗粒可使五花肉脂肪的碘值增加1.3至3.1个碘值单位（平均增加2.4个碘值单位：表4.5）。这可能是由于制粒过程的热处理增加了脂肪的消化率，而热处理已被证明可以提高养分利用率。

表4.5 日粮形式对五花肉脂肪碘值的影响

研究	粉状	颗粒	差值
Overholt等, 2016	70.0	73.1	3.1
Nemechek等, 2015	70.7	73.6	2.9
Nemechek等, 2015	72.2	73.5	1.3
Matthews等, 2014	69.2	71.6	2.4
平均差值			2.4

一些日粮添加剂，如共轭亚油酸（CLA）、木棉油和Lipinate®（NutriQuest®, Mason City, IA）已证明可以改善脂肪硬度。这些产品增加了日粮成本，需要在考虑脂肪品质时加以权衡。某些牛油来源可能含有天然CLA，可改善脂肪品质。在日粮中添加牛油可以改善脂肪品质，或者至少减少因日粮能量增加而产生的负面影响。

添加莱克多巴胺已被证明对脂肪品质有负面影响（表4.6）。添加莱克多巴胺会使脂肪碘值从1.0增加到3.7个碘值单位（平均增加1.8个碘值单位）。这种效果是预料之中的，因为莱克多巴胺会降低胴体的脂肪含量，而瘦肉/脂肪含量与脂肪品质高度相关。

在大多数情况下，营养对脂肪品质的影响符合与日粮脂肪相关的一般脂肪生物学原理。随着日粮中脂肪百分比的增加，脂肪酸从头合成进一步受到抑制，导致饱和脂肪减少/软脂肪。随着日粮脂肪的脂肪酸饱和度降低/变软，胴体脂肪的饱和度也会降低/变软。因为脂肪品质的重要性，任何营养调整都要进行评估，以确定是否会对脂肪品质产生负面影响。

表4.6 莱克多巴胺对不同胴体部位的脂肪碘值的影响

研究	脂肪部位	莱克多巴胺水平	平均持续时间	对照	Paylean®	差值
Apple等, 2008	背膘	10 ppm	35日	72.7	75.5	2.8
Graham等, 2014	五花肉	10 ppm	24日	65.4	66.4	1.0
Graham等, 2014	下颌	10 ppm	24日	65.4	66.4	1.0
Matthews等, 2014	背膘	5 ppm	23日	69.9	71.5	1.6
Matthews等, 2014	五花肉	5 ppm	23日	69.8	71.0	1.2
Weber等, 2006	背膘 <sup>a</sup>	10 ppm	28日	62.5	67.6	3.7
Weber等, 2006	五花肉	10 ppm	28日	59.0	60.2	1.2
平均差值						1.8

<sup>a</sup>内层和外层背膘的平均值。

## 4.3 管理脂肪品质

猪营养是管理脂肪品质的最重要因素。虽然影响脂肪品质的非营养因素也很重要,但改变非营养因素的影响往往很小。此外,这些改变通常难以实施。从遗传角度调整是不切实际的,因为当前使用的现代基因型中,最大的碘值差异约为1.5个碘值单位。在大多数情况下,性别之间的差异是无法改变的,除非有人愿意放弃公猪,或仅使用阉公猪开发具有良好脂肪品质的特定产品组合。

伴随着脂肪的增加,活重也会上升,只要增加的脂肪和重量不会损害猪或猪肉的生产效率。从非营养的角度来看,确保猪的健康状况和帮助猪避免热应激是脂肪管理的最重要因素。

日粮对脂肪品质影响的研究与非日粮对脂肪品质影响的研究,比较两者的数量可以最好地说明营养的重要性。用营养来管理脂肪品质是通过三个因素进行的,包括日粮配方、日粮形式以及影响脂肪品质的特定微量成分。

### 4.3.1 改善脂肪品质的日粮配方

营养学家采用许多不同的方法来制定日粮配方,满足特定的脂肪品质要求,但最普遍的两种方法是基于特定的C18:2水平以及基于碘值乘积(IPV)设计配方。

如果使用标准成分,且其他多不饱和脂肪酸没有显著变化,则按照特定的C18:2水平设计日粮会有很好的效果。然而,在猪日粮中发现的常见单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸是基于IPV配制的。

IPV使用以下公式计算:IPV = (饲料源中脂肪的碘值) X (饲料源中脂肪的百分比) X 0.10。表4.7为选定日粮成分的碘值、脂肪百分比和IPV。表4.8为猪日粮中所选脂肪来源的碘值、脂肪百分比和IPV。

表 4.7 常见饲料成分的碘值(IV)、脂肪百分比和碘值乘积(IPV)

成分	IV <sup>a</sup>	% 脂肪百分比 <sup>a</sup>	IPV <sup>b</sup>
面包屑	125	11.3	141.3
大麦	125	1.9	23.8
双低油菜籽粉	118	3.5	41.3
干酒糟	125	9.9	123.8
高蛋白干酒糟	125	3.4	42.5
玉米胚芽	125	17.5	218.8
玉米蛋白粉	125	2.9	36.3
玉米	125	3.9	48.8
高油玉米	125	6.0	75.0
玉米渣	125	6.7	83.8
肉骨粉	70	10.1	70.7
肉粉	70	11.2	78.4
小米	135	3.5	47.3
燕麦	106	4.7	49.8
燕麦粒	106	6.2	65.7
豌豆	135	1.2	16.2
高粱	116	2.9	33.6
大豆皮	130	2.2	28.6
豆粕, 47.5% CP	130	3.0	39.0
豆粕, 46.5% CP	130	3.0	39.0
豆粕, 44% CP	130	1.5	19.5
全脂大豆	130	18.0	234.0
向日葵粉, 42% CP	120	2.9	34.8
黑小麦	87	1.8	15.7
麦麸	83	4.0	33.2
硬红冬麦	83	2.0	16.6
小麦次粉	83	4.2	34.9

<sup>a</sup>碘值水平和脂肪百分比来自《2009年国家猪营养指南》。<sup>b</sup>使用下方程确定: (IV x %fat x 0.1)。

表4.8 添加到日粮中的常见脂肪来源的碘值(IV)、脂肪百分比和碘值乘积(IPV)

成分	IV <sup>a</sup>	% 脂肪百分比 <sup>a</sup>	IPV <sup>b</sup>
牛油	44.0	99	435.6
菜籽油	118.0	100	1180.0
椰子油 <sup>c</sup>	8.0	99	79.2
精选白油脂	60.0	99	594.0
玉米油	125.0	100	1250.0
棕榈油	13.0	99	128.7
家禽脂肪	78.0	99	772.2
大豆卵磷脂	97.0	100	970.0
豆油	130.0	100	1300.0
葵花油 <sup>c</sup>	114.0	100	1140.0

<sup>a</sup>除非另有说明，碘值水平和脂肪含量百分比均来自《2009年国家猪营养指南》（美国）。

<sup>b</sup>使用下方程确定：(IV x %fat x 0.1)。

<sup>c</sup>碘值水平来自NRC (2012)。

要基于IPV进行配方，请将IPV作为营养物质添加到每种包含脂肪源的成分上，并在配方软件中设置IPV的营养限制。IPV的限制范围取决于胴体脂肪中所需的碘值。业内已开发了基于日粮碘值乘积以及C18:2水平和DDGS水平来估算胴体脂肪碘值的公式，更复杂的方程囊括了必需脂肪酸、能量浓度、饲喂持续时间、体重、胴体重、每日采食量和背膘厚度等因素（表4.9）。

PIC为本文中所有脂肪碘值的预测制定了下方程【预测脂肪碘值 = 52.4 + (0.315 x 日粮IPV)】(Boyd等, 1997)。大多数这些方程在它们开发时针对的目标群体/环境条件下是准确的。用于这些参数之外的情形时，这些方程会因营养物质的消化率、健康状况、环境条件、取样或实验室程序的差异、性别差异或胴体脂肪的差异而失去准确性。

在这些方程中，最不准确的是那些只考虑日粮中DDGS的方程，因为DDGS的含油量和消化率差异很大，且不是所有日粮都包含DDGS。此外，可以添加不同浓度的其他成分，这些成分可以像DDGS一样影响日粮。

图4.15是来自三项大学试验的育肥后期日粮IPV，这些试验使用了每项试验中对应的日粮组成进行计算。该图说明，尽管日粮使用了相似水平的DDGS，但由于影响IPV的其他日粮成分，对脂肪品质产生的影响可能不同。这也展示了使用仅考虑DDGS的方程的谬误。

表4.9 预测胴体脂肪碘值的方程

方程类型	参考文献	预测部位	方程	R2
IVP	Madsen et al., 1992	背膘	$47.1 + 0.14 \times \text{IVP摄入/日}$	0.86
IVP	Boyd et al., 1997	背膘	$52.4 + 0.315 \times \text{日粮IVP}$	-
IVP	Benz et al., 2011	背膘	$51.946 + 0.2715 \times \text{日粮IVP}$	0.16
IVP	Benz et al., 2011	下颌脂肪	$56.479 + 0.247 \times \text{日粮IVP}$	0.32
IVP	Estrada Restrepo, 2013	背膘	$60.13 + 0.27 \times \text{日粮IVP}$	0.81
IVP	Estrada Restrepo, 2013	下颌脂肪	$64.54 + 0.27 \times \text{日粮IVP}$	0.81
IVP	Estrada Restrepo, 2013	五花肉脂肪	$58.32 + 0.25 \times \text{日粮IVP}$	0.74
IVP	Kellner, 2014	平均值a	$58.102 + 0.2149 \times \text{日粮IVP}$	0.93
C18:2	Benz et al., 2011	背膘	$35.458 + 14.324 \times \text{日粮C18:2, \%}$	0.73
C18:2	Benz et al., 2011	下颌脂肪	$47.469 + 10.111 \times \text{日粮C18:2, \%}$	0.90
C18:2	Kellner, 2014	平均值	$58.566 + 0.1393 \times \text{C18:2 摄入/日, g}$	0.94
DDGS	Cromwell et al., 2011	背膘	$64.5 + 0.432 \times \text{日粮中的DDGS, \%}$	0.92
DDGS	Estrada Restrepo, 2013	背膘	$70.06 + 0.29 \times \text{日粮中的DDGS, \%}$	0.81
DDGS	Estrada Restrepo, 2013	下颌脂肪	$72.99 + 0.24 \times \text{日粮中的DDGS, \%}$	0.81
DDGS	Estrada Restrepo, 2013	五花肉脂肪	$67.35 + 0.26 \times \text{日粮中的DDGS, \%}$	0.75
Complex	Paulk et al., 2015	背膘	$84.83 + (6.87 \times \text{IEFA}) - (3.90 \times \text{FEFA}) - (0.12 \times \text{Id}) - (1.30 \times \text{Fd}) - (0.11 \times \text{IEFA} \times \text{Fd}) + (0.048 \times \text{FEFA} \times \text{Id}) + (0.12 \times \text{FEFA} \times \text{Fd}) - (0.0060 \times \text{FNE}) + (0.0005 \times \text{FNE} \times \text{Fd}) - (0.26 \times \text{BF}) b$	0.95
Complex	Paulk et al., 2015	下颌脂肪	$85.50 + (1.08 \times \text{IEFA}) + (0.87 \times \text{FEFA}) - (0.014 \times \text{Id}) - (0.050 \times \text{Fd}) + (0.038 \times \text{IEFA} \times \text{Id}) + (0.054 \times \text{FEFA} \times \text{Fd}) - (0.0066 \times \text{FNE}) + (0.071 \times \text{IBW}) - (2.19 \times \text{ADFI}) - (0.29 \times \text{BF}) b$	0.93
Complex	Paulk et al., 2015	五花肉脂肪	$106.16 + (6.21 \times \text{IEFA}) - (1.50 \times \text{Fd}) - (0.11 \times \text{IEFA} \times \text{Fd}) - (0.012 \times \text{FNE}) + (0.00069 \times \text{FNE} \times \text{Fd}) - (0.18 \times \text{HCW}) - (0.25 \times \text{BF}) b$	0.94

<sup>a</sup>平均值 = 下颌、背部和五花肉脂肪的平均值。

<sup>b</sup>方程的组成如下：I = 初始日粮，F = 最终日粮，d = 日粮饲喂天数，EFA = 必需脂肪酸（C18:2和C18:3, %），NE = 净能 (kcal/kg)，体重 (kg)、ADFI = 平均日采食量 (kg)、HCW = 热胴体重 (kg) 和BF = 背膘深度 (mm)。

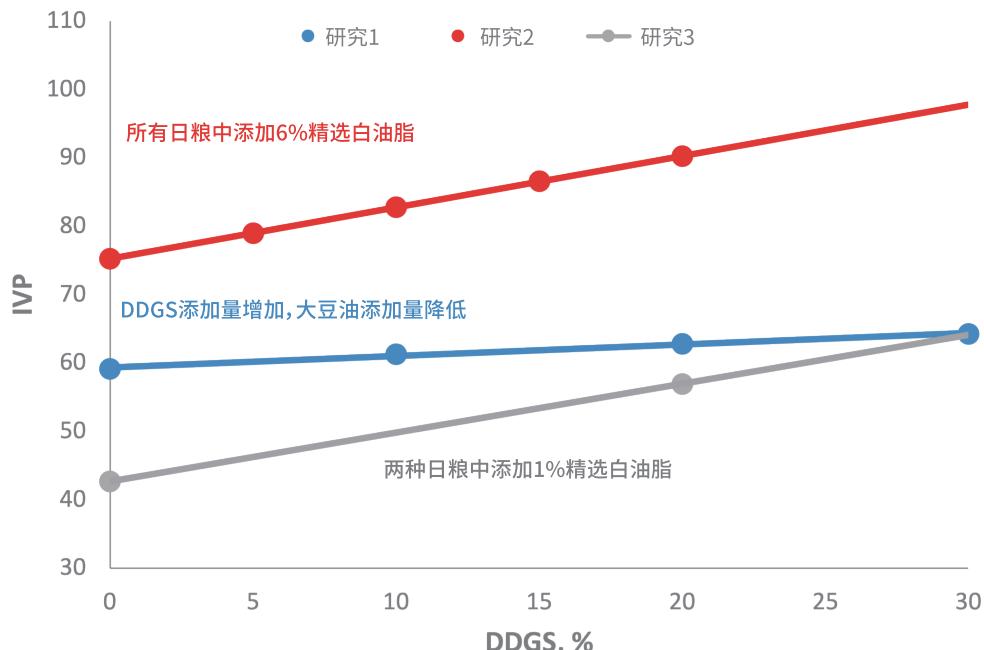


图4.15 不同日粮组成的DDGS百分比对IVP的影响

虽然IVP对胴体脂肪碘值的预测并不完美,但如果所有的关键组成部分都以系统性的方式准备到位,IVP是一种极好的监测工具。这些组成部分包括:

- 饲料成分的一致性
  - 原料必须具有相对一致的IVP(脂肪水平和脂肪碘值),或者在收到新批次的原料后进行分析。
  - 在使用DDGS等原料时,或者添加不同的原料供应商或不熟悉的原料时,这一点尤其重要。
    - 使用相同的实验室方法测量饲料的脂肪和IV水平。
    - 选择并使用固定的公式来估算胴体脂肪碘值。
      - 确保方程的估测部位与屠宰场测量脂肪品质的部位一致。
      - 屠宰场的持续反馈至关重要。
    - 由于这些方程并不完全准确,屠宰场必须定期提供胴体脂肪碘值分析,以确定IVP的配方水平是否充分或者是否需要调整。
  - 屠宰场需要在一致的位置测量脂肪碘值,并使用一致的分析方法。
    - 样本应该对不同的性别均具有相同的代表性,或始终对相同的性别进行采样。
    - 避免从极轻或极重的猪身上采样,但要确保体重范围在总体平均值上下。
  - 注意除营养外任何可能影响胴体脂肪碘值的环境问题,可能包括但不限于健康问题或热应激。
    - 分析数据。
      - 使用统计过程控制措施来监控数据。
      - 务必经常监控数据(每周或每月)。
        - 这使IVP的变化与胴体脂肪碘值水平的变化保持一致。
    - 虽然这种方法一开始需要一些试错,但随着时间的推移,积累的数据能更清晰地说明如何调整IVP以获得特定的胴体脂肪碘值。

#### 4.3.2 通过日粮形式和微量成分来管理脂肪品质

如前所述，日粮制粒对脂肪品质有负面影响。若关注脂肪品质，在经济上可行且脂肪品质不能通过其他营养方面来改善的情况下，可考虑饲喂糊状/粉状日粮。然而，需要关注糊状/粉状日粮可导致的生长性能下降，并了解这对整体经济效益造成的影响。

CLA和Lipinate<sup>®</sup>等市售微量成分有助于改善脂肪品质。然而，在大多数情况下，CLA的成本阻碍了CLA在养猪业中的广泛使用。在脂肪品质很重要的情况下，请谨慎使用微量成分，如莱克多巴胺或其他胴体改性剂（会导致胴体更瘦）。在决定是否使用这些产品之前，需先评估它们的整体经济影响。

## 第五节

### 性别对品质的影响



猪的性别会影响瘦肉和脂肪品质。虽然在第4.2.2节中讨论了对脂肪品质的一些影响，但在前面的章节中没有讨论对瘦肉品质的影响。

通常很难根据文献中的信息确定性别之间的肉质差异，因为报告中并不经常有性别相关数据，或者样本量相对较小不足以确定性别影响。在许多样本量较大的研究中，因为整体肉质较差（最终pH < 5.5；滴水损失 > 5%），导致难以对性别间差异做出有意义的判断。然而，通过PIC的大型猪肉品质数据库，以及查阅文献和行业交流，我们可以提供一个很好的视角来预估不同性别之间的猪肉品质差异。

目前，精子性别鉴定在技术上可以实现，但从大规模养殖角度来看是不切实际的或经济上是不可行的。因此，根据出生率的基本生物学原理，我们可以预计后代大约50%为公猪，50%为母猪。然而，公猪可分为公猪和阉公猪，而阉割过程中采取不同的方式将有可能改善猪肉品质。随着猪肉行业的不断发展，没有疼痛管理的阉割做法受到了越来越多的审查，许多国家或禁止或建议废除阉割流程。这可能会对当前的或未来的猪肉品质产生影响，本节将对这些影响展开讨论。

## 5.1 阉公猪、后备母猪和公猪的瘦肉品质差异

有一篇文献综述表明，不同研究得出的阉公猪和后备母猪在瘦肉品质上的差异通常不一致。有许多报告指出，后备母猪的肉色略深，而阉公猪的肌间脂肪含量始终较高。二者在最终pH值、保水性（滴水损失）和剪切力（嫩度）上的结果一致性低很多。

PIC拥有来自数千头猪的高质量数据，因此能够分析性别对猪肉品质的影响（表5.1）。PIC的数据表明，后备母猪的L\*、a\*和b\*值较低（颜色更深、红色度更低、黄色度更低）。阉公猪和后备母猪的主观颜色和硬度评分没有差异。阉公猪的最终pH值和大理石花纹评分较高，滴水损失和Warner-Bratzler剪切力（WBS）值较低。平均而言，这些数据表明，相比于后备母猪的大排肌肉，阉公猪大排肌肉的食用品质略微更好。

表5.1 阉公猪与后备母猪的猪肉品质性状差异

性状	阉公猪	后备母猪	优势	样本量（阉公猪/后备母猪）
pH	5.74a	5.72b	阉公猪（较后备母猪高0.02）	12817/13167
JCS	3.18	3.19	无	12797/13140
L*	47.21a	46.51b	后备母猪（较阉公猪低0.7）	12731/13032
a*	8.54c	8.49d	阉公猪（较后备母猪高0.05）	12731/13032
b*	2.34a	2.05b	后备母猪（较阉公猪低0.29）	12731/13032
大理石纹	2.42a	2.12b	阉公猪（较后备母猪高0.30%）	12065/12523
硬度	3.19	3.18	无	9257/9863
滴水损失	2.49a	2.61b	阉公猪（较后备母猪低0.12%）	7108/7795
WBS	3.26a	3.50b	阉公猪（较后备母猪轻0.24 kg）	3435/3344

<sup>ab</sup>不同上标的均值显著不同（P<0.0001）。

<sup>cd</sup>不同上标的均值显著不同（P<0.005）。

获取对比公猪和阉公猪的大规模数据集更加困难。Pauly等（2012）进行了一项荟萃分析研究，将公猪与阉公猪和免疫阉割公猪进行了比较。该研究表明，公猪的最终pH值较低，大理石花纹较少，剪切力较高，L\*值较高。其他性状不受影响。

大多数研究表明，最佳食用品质的顺序是阉公猪大排肌肉 > 后备母猪大排肌肉 > 公猪大排肌肉，免疫阉割公猪介于阉公猪和后备母猪之间。这与屠宰场从屠宰阉公猪转为屠宰公猪之后得到的观察结果一致。这些屠宰场表明，零售商对滴水损失的投诉增多，还观察到更高的贮藏损失（热胴体重对比冷胴体重）。在一些只使用公猪或免疫阉割公猪的市场中，后备母猪的肉可以溢价出售。

## 5.2 阉公猪、后备母猪和公猪之间的脂肪品质差异

正如在第4.2.2节中提到的，公猪的碘值最高（脂肪最软），其次是后备母猪。阉公猪的碘值最低（脂肪最硬），免疫阉割公猪的碘值水平与后备母猪相近（图4.10）。

脂肪硬度与脂肪含量相吻合。公猪的脂肪含量最少，其次是后备母猪，而阉公猪的脂肪含量最高。在停止公猪的阉割操作之前，了解其对脂肪含量和硬度变化的影响很重要，因为这会影响到某些产品的脂肪品质。

虽然许多地区在饲养公猪时并未注意到脂肪品质问题，但对于从阉公猪养殖转向公猪养殖的地区，情况并非如此。这些地区正在评估提高公猪脂肪含量和硬度的方法。一些屠宰场表明，养殖转型后对脂肪的影响比公猪膻味更难处理。在全面停止公猪阉割之前，应根据产品组合和个别市场情况对脂肪受到的影响进行全面评估。

## 5.3 公猪膻味

公猪膻味主要由猪脂肪中的雄烯酮和3-甲基吲哚（粪臭素）引起。此外，吲哚也与公猪膻味有关。烹饪过程中会释放雄烯酮和粪臭素，产生难闻的气味。未阉割公猪的雄烯酮和粪臭素水平较高，公猪膻味的发生率也较高。尽管如此，公猪膻味也可能存在于母猪和阉割后的公猪中。

并非所有人都对公猪膻味敏感。女性比男性对公猪膻味更敏感。20世纪70年代和80年代的研究表明，90%的女性和50%的男性可以察觉到雄烯酮，但所有人都可以察觉到粪臭素。美国农业部的最新信息表明，30%或以上的人可以察觉到公猪膻味。

在预先确定的阈值水平上【雄烯酮 ( $> 0.5\text{-}1.0 \text{ mg/kg}$ ) 和粪臭素 ( $0.20\text{-}0.25 \text{ mg/kg}$ )】，大约20%的公猪会出现公猪膻味。不过，这种关系是可变的。这两种化合物含量低的猪可能仍会出现公猪膻味，而含量高的猪可能不会出现公猪膻味。基于人鼻评分的报告表明，只有大约4%的公猪会出现可检测到的公猪膻味。

虽然发生率很低，但管理公猪膻味至关重要，因为膻味会降低猪肉的食用品质，并可能降低其作为首选动物蛋白的受欢迎程度。这在不养殖未阉割公猪并且接触公猪膻味的可能性历来较低的地区尤其重要。公猪膻味可以通过三个关键领域进行管理：遗传学、猪场养殖管理和屠宰场管理。

### 5.3.1 公猪膻味的遗传管理

在不同品系之间对雄烯酮和粪臭素的水平进行评估后发现，差异确实存在。Frieden等（2011）汇总了文献中的品种比较研究，发现杜洛克的雄烯酮含量最高（ $3.27 \mu\text{g/g}$ 脂肪）。皮特兰（及皮特兰杂交猪）中雄烯酮的水平在 $0.54$ 至 $2.40 \mu\text{g/g}$ 脂肪的范围内变化。大白和长白的雄烯酮水平相对较低，范围为 $0.44$ 至 $1.19 \mu\text{g/g}$ 脂肪。

此外，雄烯酮的遗传力估值范围为 $0.50$ 至 $0.75$ （高）。粪臭素的遗传力估值范围为 $0.23$ 至 $0.56$ （中到高）。这些发现表明雄烯酮和粪臭素可用作管理公猪膻味水平的选育标准。

2015年，德国Warentest表明，与没有选育的公猪品系相比，在经过某种针对公猪膻味（雄烯酮和粪臭素水平）进行选育后，两种公猪品系的雄性后代的公猪膻味更低（ $2.35\%$ 与 $4.4\%$ 有检测到的公猪膻味）。然而，遗传不可能是唯一的解决方案，因为影响公猪膻味的因素有很多。

### 5.3.2 公猪膻味的猪场养殖管理

有许多猪场因素可以通过管理减少公猪膻味的发生率。最简单、最可靠的管理实践是公猪阉割，这几乎消除了公猪膻味的风险。

然而，许多国家或地区无法接受阉割操作，或者希望通过饲养未阉割的公猪以利用其相对于阉公猪的生长性能优势。许多养殖者用免疫阉割技术代替了物理阉割。免疫阉割既利用了公猪在生长性能方面的优势，同时限制了公猪膻味的发生率。尽管如此，在公猪养殖体系中，可以通过管理很多场内因素来减少发生公猪膻味的可能性。

几项研究表明，雄烯酮水平会随着活重的增加而增加，而当初情期到来，粪臭素水平也会增加。许多国家的普遍做法是屠宰活重为 $100 \text{ kg}$ （ $220 \text{ lb}$ ）或以下的公猪，而其他地区则通过限制公猪屠宰的最大年龄，尽量减少公猪膻味。但是，也有一些研究并未观察到体重或年龄带来的影响。这可能是由于初情期开始时的年龄或体重差异，或由其他因素共同影响所致。

背膘厚度也会影响公猪膻味，其发生率随着背膘厚度的增加而增加（图5.1）。这可以解释部分品种差异，同时证实将体重和年龄作为管理公猪膻味的有效工具是可靠的。

为了减轻公猪膻味，许多研究讨论了猪场系统内的环境因素。保持猪的清洁以降低公猪膻味（粪臭素）水平很重要。饲养在脏污（尿液和粪便污染）的围栏中的猪发生公猪膻味的几率更高。相对于饲养在漏缝足够宽，栏位能够保持相对清洁的猪，那些饲养在实心地板或狭窄的漏缝地板上的猪更容易发生公猪膻味。饲养密度高也会增加公猪膻味的发生率。温度也会影响公猪膻味水平，在温暖的夏季月份，粪臭素水平通常较高。

研究人员已评估了不同养殖系统中养殖模式产生的影响，但对于这一点如何影响猪肉中的膻味水平还没有明确的共识。最近对混合性别与分性别养殖的研究表明，从公猪膻味的角度来看，混合性别养殖可能略好一些。因混群或分批出栏导致猪群内部建立起了新的阶级关系或关系发生重组时，也会升高雄烯酮水平并增加猪肉膻味。

营养在减少公猪膻味方面起着重要作用，尤其是在减少粪臭素方面。可调整日粮配方以降低公猪膻味的发生率。饲喂较低水平的色氨酸、调整纤维水平和类型以及添加有机酸均已被证明可以降低粪臭素水平。许多公猪养殖场会添加菊苣等不易消化的碳水化合物，这已被证明具有积极作用。

相对于干料，饲喂湿伴料并提供足够的料槽空间也可以降低粪臭素水平。在固定出栏日龄时，与限饲相比，自由采食已被证明会增加粪臭素水平，但在固定出栏体重时并没有这一现象。

很明显，各种养殖实践都会影响公猪膻味，其中许多因素是相互关联的。虽然处理好这些因素（阉割除外）并不能彻底消除公猪膻味，但将这些因素纳入考虑，有助于降低因为公猪膻味影响猪肉品质的风险。

### 5.3.3 公猪膻味的屠宰场管理

在大多数情况下，屠宰场只能找出有膻味的猪，而无法降低发生公猪膻味的可能性。可采取的有限管理措施包括卫生和隔离。待宰圈应尽可能保持清洁，且避免混合不同来源的猪，以尽量减少对公猪膻味的潜在影响。

一旦公猪进入屠宰场，识别有公猪膻味的猪（胴体）是首要任务。在找出有膻味的公猪胴体后，可将该公猪胴体从正常生产中移出并用于能够掩盖膻味影响的产品，例如乳化型香肠。通过香肠进行稀释、掩盖膻味或采取熏制处理。

在养殖线上检测公猪膻味的一种主观方法是热烙铁测试。这项测试需在颈部脂肪上放置热烙铁，受过训练的人员随后能够闻到脂肪的气味，确定是否存在公猪膻味以及程度如何。

## 5.4 免疫阉割

之前提到免疫阉割（IC）是降低公猪膻味风险的一种方法。免疫阉割需注射蛋白质化合物，其作用类似于疫苗免疫，可诱导产生针对促性腺激素释放因子（GnRF）的抗体，从而抑制猪的性发育。

免疫阉割需要注射两剂。第一剂是在9周龄后给予初始剂量，让免疫系统初次应答。在第一剂之后至少4周给予第二剂，刺激免疫反应，抑制睾丸发育并降低雄烯酮和粪臭素水平。

猪不应在第二次给药后3周内或10周后出栏，因为在这两个时间出栏存在检测出公猪膻味的风险。第二剂需要时间才能生效，而机体清除激素也需要时间，之后效果会随着时间的推移而减弱。

如果对公猪进行适当的注射，免疫阉割在消除公猪膻味方面非常有效。如果某头公猪未获得第一剂注射，因此不能有效地抑制GnRF，就会出现问题。所以，必须有良好的接种程序，确保每头公猪均能获得两次注射。

在屠宰场确保免疫阉割的在线监测方法之一是评估睾丸的大小。正确接种的公猪的睾丸不会完全发育。应对任何有完全形成睾丸的公猪进一步评估其公猪膻味。

由于免疫阉割会抑制猪的性发育，研究人员还评估了免疫阉割对后备母猪的影响。在某些地区，免疫阉割虽然不用于公猪膻味的控制，却被用于管理后备母猪生产以满足当地的产品偏好。

大部分对商品母猪的免疫阉割始于西班牙，用于伊比利亚猪的养殖。传统的做法是对户外饲养的伊比利亚母猪进行手术阉割（绝育），因为这些母猪的出栏体重更大（150 kg/330 lb）阉割可以防止其怀孕。免疫阉割的使用有效地消除了对手术阉割的需要，并改善了当地市场的养殖和胴体性状。免疫阉割的商品母猪生长速度更快，可以更早地作为高价值产品出售。这些猪也更肥，在伊比利亚养猪业中更受欢迎。

免疫阉割的使用也经过评估，并已用于传统的商品猪养殖。目前，许多地区猪的出栏活重正在增加，这导致商品母猪会在出栏前成熟并发情。这将减慢生长速度，延长整栋出栏的时间。

因此，这些养殖者中有许多人都在关注商品母猪免疫阉割的优势，其生长速度更接近公猪和阉公猪。这样可以更快地清空猪舍，这在育肥舍空间有限时很重要。此外，因为母猪更肥，脂肪品质（硬度）更好，五花肉更适合培根生产。

因此，免疫阉割可以成为无阉割公猪生产和商品母猪生产的有效工具。应基于个体情况评估免疫阉割的使用，以确定实施免疫阉割是否可行和合法，以及是否对养殖者在经济上有利。

## 结语

PIC为能在各种全球猪肉供应链中发挥关键作用感到自豪。通过遗传改良和技术服务网络，我们全心致力于养猪行业的成功。

PIC应用肉品科学团队的技术服务围绕为我们的客户提供实操性帮助，为客户制定符合具体屠宰场情况的猪肉品质保证计划。提供服务时，我们会广泛评估影响猪肉品质的常规屠宰场运营，从生猪宰前管理和致昏，到胴体冷却操作，再到猪肉品质评估。

此外，我们还制定了PIC® Pork Quality Compass™（猪肉品质指南）。这是一项独特的全球猪肉品质基准，可用于判断屠宰场的性能表现，使客户能够客观地检查猪肉品质。该基准程序：(1) 提供了一套猪肉品质评估系统，对所有屠宰场的所有测量实现了标准化；(2) 帮助确定需要改进的领域；(3) 为猪肉加工企业提供定制化参考，比较其猪肉品质在全国或全球范围内的水平。

我们还开发了一套针对PIC父系的胴体品质评估工具，利用初分割和精分割重量在不同胴体重时的数据分布来优化零售肉的销售，从而提高加工商的利润潜力。

如有意见和问题，请联系PIC应用肉品科学团队。



## 参考文献

- AOCS. 1998. Official Methods and Recommended Practices of the AOCS, 5th ed. Recommended practice Cd 1c-85. Am. Oil Chem. Soc., Champaign, IL.
- Akit, H., H. Frobese, H. A. Channon, D N. D'Souza and F. R. Dunshea. 2014. Effect of sex and dietary lecithin on eating quality of pork. 60th International Congress of Meat Science and Technology, 17-22nd August 2014, Punta del Este, Uruguay.
- Aluwé M., S. Millet, K.C.M. Langendries, K. M. Bekaert, F.A.M. Tuyttens, and D. L. De Brabander. 2011. Comparison of meat quality between barrows, boars and boars vaccinated against GnRH. 57th International Congress of Meat Science and Technology, 7-12 August 2011, Ghent-Belgium.
- Apple, J. K., C. V. Maxwell, D. L. Galloway, S. Hutchison, and C. R. Hamilton. 2009. Interactive effects of dietary fat source and slaughter weight in growing-finishing swine: I. Growth performance and longissimus muscle fatty acid composition. *J. Anim. Sci.* 87:1407-1422.
- Apple, J. K., C. V. Maxwell, D. L. Galloway, C. R. Hamilton, and J. W. S. Yancey. 2009. Interactive effects of dietary fat source and slaughter weight in growing-finishing swine: I. Growth performance and longissimus muscle fatty acid composition. *J. Anim. Sci.* 87:1423-1440.
- Arkfeld, E. A., S. Mancini, B. Fields, A. C. Dilger, and D. D. Boler. 2015. Correlation of fresh muscle firmness with sensory characteristics of pork loins destined for a quality focused market. *J. Anim. Sci.* 93:5059-5072.
- Azain, M. J. 2004. Role of fatty acids in adipocyte growth and development. *J. Anim. Sci.* 82:916-924.
- Backus, G.B.C., E. van den Broek, B. van der Fels, L. Heres, V. M. Immink, E. F. Knol, M. Kornelis, P. K. Mathur, C. van der Peet-Schowering, J. W. van Riel, H. M. Snoek, A. de Smet, G.M.L. Tacken, N. I. Valeeva, C.P.A. van Wageningen. 2016. Evaluation of producing and marketing entire male pigs. *Wageningen Journal of Life Sciences* 76:29-41.
- Barkley, K., B. Fields, A. Dilger, and D. Boler. 2018. Rapid Communication: Effect of machine, anatomical location, and replication on instrumental color of boneless pork loins. *J. Anim. Sci.* 96(7):2747-2752.
- Barton-Gade, 1987. Meat and fat quality in boars, castrates, and gilts. *Livest. Prod. Sci.* 16:187-196.
- Bee, G., S. Gebert, and R. Messikommer. 2002. Effect of dietary energy supply and fat source on the fatty acid pattern of adipose and lean tissues and lipogenesis in the pig. *J. Anim. Sci.* 80:1564-1574.
- Benz, J. M., M. D. Tokach, S. S. Dritz, J. L. Nelssen, J. M. DeRouchey, R. C. Sulabo, and R. D. Goodband. 2011. Effects of dietary iodine value product on growth performance and carcass fat quality of finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 89:1419–1428.
- Berg, E. P. 1998. Pork Facts: Critical Points Affecting Fresh Pork Quality within the Packing Plant. National Pork Producers Council, Des Moines, IA.
- Bertol, T.M., M. Ellis, M.J. Ritter, F.K. McKeith and D.N. Hamilton. 2006. Variation in glycolytic potential and fresh pork quality traits along the longissimus dorsi of slaughter weight pigs. *J. Muscle Foods* 17:237-247.
- Bertol, T. M., E. A. Oliveira, A. Coldebella, V. L. Kawski, A. J. Scandolera, and M. B. Warpechowski. 2015. Meat quality and cut yield of pigs slaughtered over 100 kg live weight. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.* 67:1166-1174.
- Bhat, Z.F., J.D. Morton, S.L. Mason, A.E.A. Bekhit. 2018. Role of calpain system in meat tenderness: A review. *Food Sci. and Human Wellness* 7:196-204.

- Bidner, B. and F. McKeith, 2006. Feed withdrawal prior to slaughter: Effects on pork quality and safety. Pork Information Gateway (<https://porkgateway.org/>), Factsheet# PIG 12-03-03.
- Bilic-Sobot, D., M. Candek-Potokar, V. Kubale, and D. Skorjanc, 2014. Boar taint: interfering factors and possible ways to reduce it. *Agricultura* 11: No 1-2: pp35-48.
- Boler, D. D., C. L. Puls, D. L. Clark, M. Ellis, A. L. Schroeder, P. D. Matzat, J. Killefer, F. K. McKeith, and A. C. Dilger. 2014. Effects of immunological castration (Improvest) on changes in dressing percentage and carcass characteristics of finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 91:359-368.
- Boyd, R. D., M. E. Johnston, K. Scheller, A. A. Sosnicki, and E. R. Wilson. 1997. Relationship between dietary fatty acid profile and body composition in growing pigs. PIC USA T&D Technical Memo153. Pig Improvement Company, USA, Franklin, KY.
- Brewer, M.S., J. Jensen, A.A. Sosnicki, B. Fields, E. Wilson, and F.K. McKeith. 2002. The effect on palatability, color, and physical characteristics of fresh pork chops. *Meat Sci.* 61:249-256.
- Cameron, N. D., and M. B. Enser. 1991. Fatty acid composition of lipid in longissimus dorsi muscle of Duroc and British Landrace pigs and its relationship with eating quality. *Meat Sci.* 29:295-307.
- Channon, H. A., D.N. D'Souza, A.J. Hamilton and F.R. Dunshea. 2013. Gender, cut type, cooking method and endpoint temperature influence eating quality of different pork cut. In: Manipulating Pig Production XIV, ed. John Pluske. (Australasian Pig Science Association, Melbourne).
- Channon, H. A., D. N. D'Souza, A. J. Hamilton, and F. R. Dunshea. 2013. Sensory quality of different pork cuts was influenced by sex, cut type, cooking method and endpoint temperature. 59th International Congress of Meat Science and Technology, Izmir, Turkey.
- Channon, H.A., D.N. D'Souza, and F.R. Dunshea. 2016. Developing a cuts-based system to improve consumer acceptability of pork: Impact of gender, ageing period, endpoint temperature and cooking method. *Meat Sci.* 121:216-227.
- Channon, H. A., D.N. D'Souza, R.G. Jarrett, G.S.H. Lee, R.J. Watling, J.Y.C. Jolley, F.R. Dunshea. 2018. Guaranteeing the quality and integrity of pork – An Australian case study. *Meat Sci.* 144:186-192.
- Channon, H.A., M.G. Kerr, and P.J. Walker. 2004. Effect of Duroc content, sex and ageing period on meat and eating quality attributes of pork loin. *Meat Sci.* 881-882.
- Christensen, K. D. 1962. Foderfedtets indflydelse pa smørrets og flæskets kvalitet. (In Danish.) Thesis, Royal Veterinary and Agricultural University, Copenhagen, Denmark.
- Christian, L. L., K. L. Strock, and J. P. Carlson. 1980. Effects of protein, breed cross, sex and slaughter weight on swine performance and carcass traits. *J. Anim. Sci.* 51:51-58.
- Ciobanu, D.C., S.M. Lonergan, J.W.M. Bastiaansen, A. Mileham, B. Miculinich, C. Schultz – Kaster, A.A. Sosnicki, G.S. Plastow and M.F. Rothschild. 2004. Association of new calpastatin alleles with meat quality traits of commercial pigs. 50th International Congress of Meat Sci. & Tech., Helsinki, Finland.
- Correa, J. A., C. Gariépy, M. Marcoux, and L. Faucitano. 2008. Effects of growth rate, sex and slaughter weight on fat characteristics of pork bellies. *Meat Sci.* 80:550-554.
- Crome, P. K., F. K. McKeith, T. R. Carr, D. J. Jones, D. H. Mowrey, and J. E. Cannon. 1996. Effect of Ractopamine on Growth Performance, Carcass Composition, and Cutting Yields of Pigs Slaughtered at 107 and 125 Kilograms. *J. Anim. Sci.* 74:709-716.
- Cromwell, G. L., M. J. Azain, O. Adeola, S. K. Baidoo, S. D. Carter, T. D. Crenshaw, S. W. Kim, D. C. Mahan, P. S. Miller, and M. C. Shannon. 2011. Corn distillers dried grains with solubles in diets for growing-finishing pigs: A cooperative study. *J. Anim. Sci.* 89:2801–2811.

- DEFRA. Electrical stunning in pigs: evaluation of the voltages and frequencies required for effective stunning while maintaining satisfactory carcass quality. Defra project # MH0110 ([http://randd.defra.gov.uk/Document.aspx?Document=MH0110\\_6979\\_FRA.doc](http://randd.defra.gov.uk/Document.aspx?Document=MH0110_6979_FRA.doc)).
- D'Souza D.N., Dunshea F.R., and Mullan B.P. 2011. Finisher Pig Diet and Sex Affect the Sensory Acceptability of Australian Pork for the Japanese Market. 57th International Congress of Meat Science and Technology, 7-12 August 2011, Ghent-Belgium.
- D'Souza, D. N., and B.P. Mullan. 2002. The effect of genotype, sex and management strategy on the eating quality of pork. *Meat Sci.* 60:95-101.
- D'Souza, D. N., & Mullan, B. P. (2003). The effect of genotype and castration method on the eating quality characteristics of pork from male pigs. *Animal Science*, 77, 67–72.
- D'Souza, D. N., F. R. Dunshea, B. J. Leury, and R. D. Warner. 1999. Effect of mixing boars during lairage and pre-slaughter handling on pork quality. *Aust. J. Agric. Res* 50:109-113.
- DeVol, D. L., F. K. McKeith, P. J. Bechtel, J. Novakofski, R. D. Shanks, and T. R. Carr. 1988. Variation in composition and palatability traits and relationships between muscle characteristics and palatability in a random sample of pork carcasses. *J. Anim. Sci.* 66:385-395.
- Edwards, L., T. Grandin, T. Engle, A. Sosnicki, J. Correa, and D. Anderson. 2009. Use of blood lactate to measure swine handling stress from farm to processing plant: Relationship to pork quality. 55th International Congress of Meat Sci. & Tech., Copenhagen, Denmark.
- Eikelenboom, G., P. G. Van Der Wal, and A. G. De Vries. 1995. The significance of ultimate pH for pork quality. 41st International Congress of Meat Science & Technology, San Antonio, TX, USA.
- Ellis, M., and F. McKeith. 1999. Nutritional influences on pork quality. NPPC Fact Sheet # 04422. National Pork Producers Council, Des Moines, IA.
- England, E.M., T.L. Sheffler, S.C. Kasten, S.K. Matarneh, and D.E. Gerrard. 2013. Exploring the unknowns involved in the transformation of muscle to meat. *Meat Sci.* 95:837-843.
- Engesser, D. J., 2015. Alternatives for boar taint reduction and elimination besides surgical castration and destroying testicular tissue. PHD Dissertation, University of Leipzig, Leipzig, Germany.
- Enser et al., 1984. The composition and consistency of pig backfat as it affects the quality of vacuum-packed rindless bacon rashers. *J. Sci. Food Agric.* 35:1230-1240.
- Estrada Restrepo, J. E. 2013. Factors associated with variation in the fatty acid composition and iodine value of carcass fat in pigs fed increasing levels of dried distillers' grains with solubles. M.S. Thesis. Univ. of Illinois at Urbana-Champaign, Champaign.
- Faucitano, L. 2018. Preslaughter handling practices and their effects on animal welfare and pork quality. *J. Anim. Sci.* 96:728-738.
- Fields, B., R.E. Klont, S.J. Jungst, E.R. Wilson, G.S. Plastow and A.A. Sosnicki. 2002. New DNA marker affecting muscle glycogen content: Practical implications for pork quality. 48th International Congress of Meat Sci. & Tech., Rome, Italy.
- Fields, B., S.B. Jungst, S. Tabor, E.R. Wilson and A.A. Sosnicki. 2005. Practical use of an economic index for simultaneous genetic improvement of live performance, carcass and meat quality of the modern pig. 51st International Congress of Meat Sci. & Tech., Baltimore, MD, USA.
- Fields, B., S. Newman, S. Jungst and A. Sosnicki. 2009. Common factor analysis of pork quality traits. International Congress of Meat Sci. & Tech., 55th International Congress of Meat Sci. & Tech., Copenhagen, Denmark.
- Fields, B., S. Jungst, N. Matthews and A. Sosnicki. 2017. Increasing market weight has minimal effect on pork loin quality. 63rd International Congress of Meat Sci. & Tech., Cork, Ireland.

- Fields, B., S. Jungst, E. Richards, D. Boler, A. Dilger, A. Sosnicki and N. Matthews. 2018. Common factor analysis of pork loin quality from chops cooked to 63°C. 64th International Congress of Meat Sci. & Tech., Melbourne, Australia.
- Fitzgerald, R. F., K. J. Stalder, J. O. Matthews, C. M. Schultz Kaster and A. K. Johnson. 2009. Factors associated with fatigued, injured, and dead pig frequency during transport and lairage at a commercial abattoir. *J. Anim. Sci.* 87:1156-1166.
- Frieden, L., C. Looft, and E. Tholen. 2011. Breeding for reduced boar taint. *Lohmann Information* 46:21-27.
- Font i Furnols, M., J. Gonzalez, M. Gispert, M.A. Oliver, M. Hortos, J. Perez, P Suarez, and L. Guerrero. 2009. Sensory characterization of meat from pigs vaccinated against gonadotropin releasing factor compared to meat from surgically castrated, entire male and female pigs. *Meat Sci.* 83:438-442.
- Friesen, K. G., J. L. Nelssen3, J. k Unruh, R. D. Goodband, and M. D. Tokach. 1994. Effects of the Interrelationship Between Genotype, Sex, and Dietary Lysine on Growth Performance and Carcass Composition in Finishing Pigs Fed to Either 104 or 127 Kilograms. *J. Anim. Sci.* 72:946-954.
- Gamero-Negron, R., J. Sánchez del Pulgar, and C. García. 2015. Immune-spaying as an alternative to surgical spaying in Iberian × Duroc females: Effect on quality characteristics and fatty acid profile in dry-cured shoulders and loins. *Meat Sci.* 104:52-57.
- Gamero-Negron, R., J. Sánchez del Pulgar, J. Ventanas, and C. García. 2015. Immune spaying as an alternative to surgical spaying in Iberian × Duroc females: Effect on carcass traits and meat quality characteristics. *Meat Sci.* 99:99-103.
- García-Macías, J. A., M. Gispert, M. A. Oliver, A. Diestre, P. Alonso, A. Muñoz-Luna, K. Siggins, and D. Cuthbert-Heavens. 1996. The effects of cross, slaughter weight, and halothane genotype on leanness and meat and fat quality in pig carcasses. *Anim. Sci.* 63:487-496.
- Gispert, M., M. À. Oliver, A. Velarde, P. Suarez, J. Pérez, M. Font i Furnols. 2010. Carcass and meat quality characteristics of immunocastrated male, surgically castrated male, entire male and female pigs. *Meat Sci.* 85:664-670.
- Graham, A. B., R. D. Goodband, M. D. Tokach, S. S. Dritz, J. M. DeRouchey, and S. Nitikanchana. 2014. The interactive effects of high-fat, high-fiber diets and ractopamine HCl on finishing pig growth performance, carcass characteristics, and carcass fat quality. *J. Anim. Sci.* 92:4585–4597.
- Greaser, M.L., H. Okochi and A.A. Sosnicki. 2001. Role of fiber types in meat quality. 47th International Congress of Meat Science & Technology, Krakow, Poland. Gregory, N.G. 1998. Animal Welfare and Meat Science. CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Grela, E.R., E. Kowalcuk-Vasilev, R. Klebaniuk. 2013. Performance, pork quality and fatty acid composition of entire males, surgically castrated or immunocastrated males, and female pigs reared under organic system. *Polish J. Vet. Sci.* 16:107–114.
- Hansen, J. A. 2001. Dietary influencers of Pork Quality and practical solutions to quality problems. CFIA Swine Nutrition Conference. Pp 21-32.
- Hedrick, H.B., E.D. Aberle, J.C. Forrest, M.D. Judge, and R. A. Merkel. 1994. Principles of Meat Science. 3rd Edition. Kendall/Hunt Pub. Co.
- Hendricks, D. H. and M. R. King, 2014. A review of the literature on boar taint for New Zealand Pork. [www.nzpork.co.nz/images/custom/literature\\_review\\_on\\_boar\\_taint.pdf](http://www.nzpork.co.nz/images/custom/literature_review_on_boar_taint.pdf)
- Hoffman, K. 1994. What is Quality? *Meat Focus International*, 2, 73-82, 1994
- Humane Slaughter Association. 2016. Electrical Stunning of Red Meat Animals. The Old School, Brewhouse Hill, Wheathampstead, Herts, AL4 8AN, UK

- Huff-Lonergan, E. 2006. The role of carcass chilling in the development of pork quality. Pork Information Gateway (<https://porkgateway.org/>), Factsheet# PIG 12-03-02.
- Huff-Lornegan, E. T. J. Baas, M. Malek, J.C.M. Dekkers, K. Prusa, and M. F. Rothschild. 2002. Correlations among selected pork quality traits. *J. Anim. Sci.* 80:617-627.
- Janjic, J., J. Ivanović Ciric, J. Aleksic, N. Glamocilja, M. Starcevic, A. Radovanovic, M. Z. Baltic. 2017. The effects of immunocastration on male pig yield parameters and meat quality. *Meat Tech.* 58:1-9.
- Jensen, B. B., 2006. Prevention of boar taint in pig production. Factors affecting the level of skatole. *Acta Veterinaria Scandinavica* 48 (Suppl 1): S6.
- Jeremiah, L.E., 2006. Marbling and Pork Tenderness. Pork Information Gateway (<https://porkgateway.org/>), Factsheet# PIG 12-04-01.
- Kellner, T. A., K. J. Prusa, and J. F. Patience. 2014. Impact of dietary fat source and concentration and daily fatty acid intake on the composition of carcass fat and iodine value sampled in three regions of the pork carcass. *J. Anim. Sci.* 92:5485–5495.
- Kellner, T. A. 2014. Impact of dietary fat intake on carcass iodine value and pork fat quality. M.S. Thesis. Iowa State Univ., Ames.
- Klont, R.E., G.S. Plastow, E.R. Wilson, J.P. Garnier and A.A. Sosnicki. 2001. Prediction of pork quantity and quality – bridging the gap between myogenesis and consumer science. 47th International Congress of Meat Science & Technology, Krakow, Poland.
- Klont, R.E., P.M. Davidson, B. Fields, B.L. Knox, R.L.J.M. Van Laack and A.A. Sosnicki. 2002. Relationship between ultimate pH, shelf life and drip loss of pork loins. 48th International Congress
- Latorre, M. A., E. García-Belenguer, and L. Ariño. 2008. The effects of sex and slaughter weight on growth performance and carcass traits of pigs intended for dry-cured ham from Teruel (Spain). *J. Anim. Sci.* 86:1933-1942. of Meat Science& Technology, Rome, Italy.
- Latorre, M. A., G. Ripoll, E. García-Belenguer, and L. Amino. 2009. The increase of slaughter weight in gilts as a strategy to optimize the production of Spanish high quality dry-cured ham. *J. Anim. Sci.* 87:1464-1471.
- Lo Fiego, D. P., P Santoro, P. Macchioni, and E. De Leonibus. 2005. Influence of genetic type, live weight at slaughter, and carcass fatness on fatty acid composition of subcutaneous adipose tissue of raw ham in the heavy pig. *Meat Sci.* 69:107-114.
- Lonergan, S.M., D.G. Topel, and D.N. Marple. 2019. The Science of Animal Growth and Meat Technology. Academic Press, Elsevier.
- Madsen, A., K. Jakobsen and H.P. Mortensen. 1992. Influence of dietary fat on carcass fat quality in pigs. A review. *Acta Agric. Scand. (Sec. A) Anim. Sci.* 42:220.
- Mathur, P.K., J. ten Napel, S. Bloemhof, L. Heres, E. F. Knol, and H. A. Mulder. 2012. A human nose scoring system for boar taint and its relationship with androstenone and skatole. *Meat Sci.* 91:414-422.
- Matthews, N., S. Jungst, C. Jones, B. Fields and A. Sosnicki. 2009. Does piglet birth weight affect carcass composition and meat quality? 55th International Congress of Meat Sci. & Tech., Copenhagen, Denmark.
- Matthews, N., L. Greiner, C. Neill, B. Fields, S. Jungst, R. Johnson, and A. Sosnicki. 2014. Effect of feed form (mash vs. pellets) and ractopamine on pork fat quality. *J. Anim. Sci.* 92(Supp 2): 149(Abstract).
- Matthews, N., Brandon Fields, Steve Jungst, Andrzej Sosnicki. 2018. Impact of sire line and sex on fat firmness. 64th International Congress of Meat Science & Technology, Melbourne, Australia.
- Matthews, N., B. Fields, and A. Sosnicki. 2019. Analysis of commercial benchmarking data to assess the relationship of animal handling and carcass chilling rate on pork quality. 65th International Congress of Meat Sci. & Tech., Potsdam, Germany.

- Mayes, P. A. 1996. Harper's Biochemistry. 24th Ed. Editors: R. K. Murray, D. K. Granner, P. A. Mayes, and V. W. Rodwell. Stamford, CT.
- Meisinger, D., 2002. A System for Assuring Pork Quality. National Pork Board, Des Moines, IA.
- Nemechek, J. E., M. D. Tokach, S. S. Dritz, R. D. Goodband, J. M. DeRouchey, and J. C. Woodworth. 2015. Effects of diet form and type on growth performance, carcass yield, and iodine value of finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 93:4486-4499.
- NPB, 2000. Pork Composition and Quality Assessment Procedures. National Pork Board, Des Moines, IA.
- NPPC, 1991. Procedures to evaluate market hogs. 3rd ed. National Pork Producers Council, Des Moines, IA.
- Nürnberg, K., J. Wegner, and K. Ender. 1998. Factors influencing fat composition in muscle and adipose tissue of farm animals. *Livest. Prod. Sci.* 56:145-156.
- Overholt, M. F., J. E. Lowell, K. B. Wilson, R. J. Matulis, H. H. Stein, A. C. Dilger, and D. D. Boler. 2016. Effects of feeding pelleted diets without or with distillers dried grains with solubles on fresh belly characteristics, fat quality, and commercial bacon slicing yields of finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 94:2198-2206.
- Paulk, C. B., J. R. Bergstrom, M. D. Tokach, S. S. Dritz, D. D. Burnett, E. W. Stephenson, M. A. Vaughn, J. M. DeRouchey, R. D. Goodband, J. L. Nelssen, and J. M. Gonzalez. 2015. Equations generated to predict iodine value of pork carcass back, belly, and jowl fat. *J. Anim. Sci.* 93:1666-1678.
- Pauly, C., W. Luginbühl, S. Ampuero, G. Bee. 2012. Expected effects on carcass and pork quality when surgical castration is omitted — Results of a meta-analysis study. *Meat Sci.* 92:858-862.
- Pauly C., P. Spring-Staehli, J.V. O'Doherty, S. Ampuero Kragten, S. Dubois, J. Messadène, and G. Bee. 2010. The effects of method of castration, rearing condition and diet on sensory quality of pork assessed by a trained panel. *Meat Sci.* 86:498-504.
- Pauly, C., P. Spring, J. V. O'Doherty, S. Ampuero Kragten, and G. Bee. 2009. Growth performance, carcass characteristics and meat quality of group-penned surgically castrated, immunocastrated (ImprovacR) and entire male pigs and individually penned entire male pigs. *Animal* 3:1057-1066.
- Pérez-Ciria, L., G. Carcò, F. J. Miana-Mena, O. Mitjana, M. V. Falceto and M. A. Latorre. 2021. Immunocastration in Gilts: A Preliminary Study of the Effect of the Second Dose Administration Time on Growth, Reproductive Tract Development, and Carcass and Meat Quality. *Animals* 2021, 11, 510.
- PIC. 1996. Pork Quality Blueprint. Technical Update v1 no.7, PIC USA, Franklin, KY.
- PIC. 2003. Meat Quality: Understanding Industry Measurements and Guidelines. Technical Update. PIC USA, Franklin, KY.
- PIC. 2006. Looking for more Marbling? Cutting Edge, Quarter 2. Franklin, KY, USA.
- PIC. 2007. Crossbred breeding values: A tool for further improvement of carcass value. Cutting Edge, Quarter 1. Hendersonville, TN, USA.
- PIC. 2008. Common factors that determine pork quality. Cutting Edge, Quarter 2. Hendersonville, TN, USA.
- PIC. 2009. Genetics of pork quality: The importance of including loin pH in pig genetic improvement programs. Cutting Edge, Quarter 2. Hendersonville, TN, USA.
- PIC. 2010. Pork fat quality. Cutting Edge, Quarter 1. Hendersonville, TN, USA.
- Pommier S.A, A. Murray, W. Robertson, J. Aalhus, L. Gibson, A. Diestre, A. Sosnicki, and R. Klont. 2004. Effect of genetics on meat quality and sensory properties of pork. 50th International Congress of Meat Sci. & Tech., Helsinki, Finland.

Pospiech, E., M. Szalata, R.L.J.M. van Laack, A.A. Sosnicki and M.L. Greaser. 2001. Tenderness and protein changes of pork in relation to pig genotype and postmortem glycolysis phenotype. 47th International Congress of Meat Science & Technology, Krakow, Poland.

Price, H.E., A. B. Lerner, E. A. Rice, J. E. Lowell, B. N. Harsh, K. E. Barkley, L. T. Honegger, E. Richardson, J. C. Woodworth, M. D. Tokach, S. S. Dritz, R. D. Goodband, J. M. DeRouchey, T. G. O'Quinn, M. Allerson, B. Fields, D. A. King, T. L. Wheeler, S. D. Shackelford, A. C. Dilger, D. D. Boler. 2019. Characterizing ham and loin quality as hot carcass weight increases to an average of 119 kg. *Journal of Meat and Muscle Biology*.3 (1):330-343

Raj, A.B.M., and N.C. Gregory. 1996. Welfare implications of the gas stunning of pigs 2.

Rice, E.A., A.B. Lerner, B. A. Olson, L. L. Prill, L. N. Drey, H. E. Price, J.E. Lowell, B. N. Harsh, K. E. Barkley, L. T. Honegger, E. Richardson, J. C. Woodworth, J. M. Gonzalez, M.D. Tokach, J. M. DeRouchey, S. S. Dritz, R. D. Goodband, M.W. Allerson, B. Fields, S.D. Shackelford, D. A. King, T. L. Wheeler, A. C. Dilger, D. D. Boler and T.G. O'Quinn. 2019. Effects of increased pork hot carcass weights. II: Loin quality characteristics and palatability ratings. *Journal of Meat and Muscle Biology*. 3(1):447-456.

Stress of induction of anesthesia. *Animal Welfare*, 5, 71–78.

Scott, R. A., S. G. Cornelius, and H. J. Mersmann. 1981. Fatty acid composition of adipose tissue from lean and obese swine. *J. Anim. Sci.* 53:977-981.

Sindhoj, E., C. Lindahl, and L. Bark. 2021. Review: Potential alternatives to high-concentration carbon dioxide stunning of pigs at slaughter. *Animal* 15:3, 100164.

Stein, H. H. and G. C. Shurson, 2009. The use and application of distillers dried grains with solubles in swine diets. *J. Anim. Sci.* 87:1292-1303.

Suzuki, K., M. Ishida, H. Kadokawa, T. Shibata, H. Uchida, and A. Nishida. 2006. Genetic correlations among fatty acid compositions in different sites of fat tissues, meat production, and meat quality traits in Duroc pigs. *J. Anim. Sci.* 84:2026-2034.

Thomsen, R., 2015. Management of organic entire male pigs – boar taint and animal welfare issues. PHD Dissertation, Aarhus University, Aarhus, Denmark.

Wagner, J. R., A. P. Schinckel, W. Chen, J. C. Forrest, and B. L. Coe. 1999. Analysis of Body Composition Changes of Swine During Growth and Development. *J. Anim. Sci.* 77:1442-1466.

White, H. M., B. T. Richert, A. P. Schinckel, J. R. Burgess, S. S. Donkin, and M. A. Latour. 2008. Effects of temperature stress on growth performance and bacon quality in grow-finish pigs housed at two densities. *J. Anim. Sci.* 86:1789-1798.

Wilson, K.B., M.F. Overholt, C.M. Shull, C. Schwab, A.C. Dilger, and D.D. Boler. 2017. The effects of instrumental color and extractable lipid contend on sensory characteristics of pork loin chops cooked to a medium-rare degree of doneness. *J. Anim. Sci.* 95:2052-2060.

Valeeva, N. I., G.B.C. Backus, and W.H.M. Baltussen. 2009. Moving towards boar taint-free meat: an overview of alternatives to surgical castration from a chain perspective. 17th International Farm Management Congress, Bloomington/Normal, Illinois. Pp 131-144.

Virgili, R., M. Degni, C. Schivazappa, V. Faeti, E. Poletti, G. Marchetto, M. T. Pacchioli, and A. Mordini. 2003. Effect of age at slaughter on carcass traits and meat quality of Italian heavy pigs. *J. Anim. Sci.* 81:2448-2456.

Wu, F., L. J. Johnston, P. E. Urriola, G. C. Shurson. 2016. Pork fat quality of pigs fed distillers dried grains with solubles with variable oil content and evaluation of iodine value prediction equations. *J. Anim. Sci.* 94:1041–1052.

- Van den Broeke, A., F. Leen, M. Aluwé, B. Ampe, J. Van Meensel, and S. Millet. 2016. The effect of GnRH vaccination on performance, carcass, and meat quality and hormonal regulation in boars, barrows, and gilts. *J. Anim. Sci.* 94:2811-2820.
- van Wagnberg, C.P.A., H. M. Snoek, J. B. van der Fels, C. M. C. van der Peet-Schwering, H. M. Vermeer, and L. Heres. 2013. Farm and management characteristics associated with boar taint. *Animal* 7-11, pp 1841-1848.
- Xue, J., G.D. Dial, J. E. Pettigrew. 1997. Performance, carcass, and meat quality advantages of boars over barrows: A literature review. *Swine Health and Production* 5:21-28.
- Xu, G., S. K. Baidoo, L. J. Johnston, D. Bibus, J. E. Cannon, and G. C. Shurson. 2010. Effects of feeding diets containing increasing content of corn distillers dried grains with solubles to grower-finisher pigs on growth performance, carcass composition, and pork fat quality. *J. Anim. Sci.* 88:1398-1410

## NOTES