



Never
Stop
Improving

PIC[®] TOTAL CARCASS VALUE HANDBOOK

日本語版

PIC[®]

イントロダクション



PICのポーククオリティブループリントは、世界中の豚肉サプライチェーンが高品質で理想の豚肉を生産することを支援するために1996年に最初に開発されました。肉質とは複雑なもので、生産、輸送および屠場での管理など豚肉の品質に影響を与えるすべての要素を考慮し、遺伝的および環境的相互作用 (GxE) を定義して対処することが重要です。PIC社では、過去25年以上にわたって、科学に基づき、業界に焦点を当てたこの実用的なガイドを定期的に更新し、PIC社が世界の豚肉業界に継続的に価値を提供できるようにしています。

PIC枝肉ハンドブックは、最新の情報を業界に提供するために更新されたものとなっています。枝肉の価値に関する要素の詳細な情報と、それを管理するための実践的な推奨事項を掲載しています。ここで言う価値とは、枝肉歩留り、肉質、および脂肪質の組み合わせとして定義されます。主な形質には、赤肉pHとpH低下、肉色・脂肪色と締まり、食味、加工上の特性などがあります。このハンドブックでは、食品安全性と枝肉の保存性に関しては取り扱っていません。広範な参考文献と参考資料のリストは、本書の末尾に掲載しています。

PIC社は、優れた生産パフォーマンスの発揮、枝肉・豚肉品質に関する遺伝的改良プログラムおよび関連する技術サービスを通じて、世界の養豚業界の成功に取り組んでいます。さらに、PICの遺伝改良プログラムは、プライマルカットおよびサブプライマルカットの歩留りや分類、品質など、枝肉全体の価値向上に重点を置いています。これらのプログラムは50年以上の歴史があります。

PIC社は、優れた遺伝改良プログラム、評価技術、エリートファームシステムなど、遺伝子改良を可能な限り高い確率で実現できるよう進化を続けています。プライマルカットと肉質に関するPIC社の改良プログラムに関する最新情報については、PIC社食肉科学チームにお問い合わせください。

目次

セクション 1: 枝肉構成	1
1.1 枝肉構成の測定	2
1.1.1 枝肉の赤肉含有量の測定方法	2
1.1.2 枝肉中の赤肉割合の計算	8
1.1.3 枝肉価格の決定方法	9
1.2 プライマルカットとサブプライマルカット	14
1.2.1 地域による差	16
1.3 枝肉歩留り	16
1.3.1 枝肉歩留りとは？その重要性は？	16
1.3.2 枝肉歩留りに影響する要素	18
セクション 2: 肉質の定義と理想の肉質を実現するためのPICブループリント	25
2.1 PICブループリント	26
セクション 3: 赤肉の品質	29
3.1 赤肉品質の測定	29
3.1.1 重要指標	30
3.1.2 豚肉品質の測定手順	31
3.2 赤肉品質に影響する要素	42
3.2.1 筋肉から食肉への変換	42
3.2.2 理想の肉質の実現	45
3.2.3 pH低下と肉質に影響する要素	47
3.2.4 枝肉冷却の原理と肉質への影響	51
3.2.5 スタンニングの原理と肉質への影響	54
3.2.6 放血の原理と肉質への影響	59
3.3 赤肉品質の管理	62
3.3.1 遺伝子	62
3.3.2 栄養	63
3.3.3 農場での豚の積み込み	64
3.3.4 豚の輸送	65
3.3.5 豚の積降し	67
3.3.6 係留場所の管理	67
3.3.7 豚のスタンニング	69
3.3.8 豚の放血	71
3.3.9 スタンニングから冷却まで	73
3.3.10 枝肉の冷却	73
セクション 4: 脂肪の品質	75
4.1 脂肪の品質の測定	76
4.1.1 重要な指標	76
4.1.2 脂肪の品質の測定	76
4.2 脂肪の品質に影響を与える要素	80
4.2.1 脂肪の品質と生物学	80
4.2.2 栄養以外の脂肪の品質に影響を与える要素	82
4.2.3 脂肪の品質に対する栄養の効果	88
4.3 脂肪の品質の管理	89
4.3.1 脂肪の品質改善のための飼料配合	89
4.3.2 脂肪の品質改善のための飼料形状と微量成分	94
セクション 5: 肉質への性別の影響	95
5.1 去勢、雌、雄の赤肉品質の違い	96
5.2 去勢、雌、雄の脂肪品質の違い	97
5.3 雄臭	97
5.3.1 雄臭に対する遺伝改良	98
5.3.2 雄臭に対する農場生産管理	98
5.3.3 雄臭に対する屠場での管理	99
最後に	101
参考文献	103

セクション 1

枝肉構成



枝肉構成は、枝肉の価値を決定する上で重要な要素です。枝肉構成の測定は、枝肉の単純な計量から、枝肉全体の赤肉率の測定にまで及びます。枝肉構成の測定値は、豚肉の価格決定にも世界中で使用されています。

これらの基準は、豚を購入する加工場にとって最も利益をもたらすように考えられています。多くの国では、枝肉構成の評価に使用しなければならない評価方法と計算式の使用を義務付けています。一部国では、各企業が独自の方法や計算式を開発し使用しています。

枝肉の評価方法が確立されると、その枝肉の価値を決定する価格決定方法も確立されます。価格決定方法は、国によって基準が定められている場合でも、企業ごとに異なることがあります。最も価値のあるプライマルカットを基準にしていることが多く、何が最も価値があるかは地域によって大きく異なることがあるためです。また、地域によっては、その地域で重要なプライマルカットの価値をより高めるために枝肉のカット方法を変えている場合もあります。

このセクションでは、測定方法や計算式、プライマルカット、枝肉歩留りなど、枝肉構成の測定について詳しく説明します。

1.1 枝肉構成の測定

枝肉構成の測定方法は、国によって、さらには国内の加工工場によって異なる場合があります。このサブセクションでは、枝肉構成の測定に使用される様々な測定方法と装置について取り上げます。

枝肉価値を左右する重要な要素には、以下のようなものがあります。:

1. 枝肉重量および(または)プライマルカットの重量
2. 枝肉および(または)プライマルカットの赤肉割合
3. 枝肉歩留り及びトリミングロス

これらの中には、直接的な測定(枝肉重量など)によるものあれば、赤肉割合のように単純な測定値に基づいて推測されるものもあります。

以下のサブセクションでは、枝肉の赤肉割合を測定する 5 つの方法の概要を説明します。

1.1.1 枝肉の赤肉含有量の測定方法

直接測定

直接測定により、様々な枝肉形質を評価することができます。これらの形質の中には枝肉の価値を直接評価できるものもあれば、推測にのみ使用できるものもあります。

1. プライマルカット重量
 - a. 枝肉価値の総合評価で最も優れています。
 - b. 各プライマルカットを計量して測定されます。
 - c. 時間と手間がかかることがあります。
 - d. 近似分析や赤肉の解体により、詳細なプライマルカットの評価を得ることができます。
2. 枝肉の長さ
 - a. 第一肋骨から恥骨まで直線で測定します。(図 1.1).
 - b. 通常、枝肉の価値を示す指標とはみなされていません。しかし、ロースやバラなどでは、より長い枝肉だとプライマルカットに大きな付加価値をもたらす可能性があります。
 - c. 実際の枝肉の赤肉割合とはほとんど関係がありません。
3. 背脂肪・ロース芯の大きさ/深さ
 - a. 背脂肪は、定規を用いて正中線の様々な位置で測定することができます(図 1.1)
 - i. 第1肋骨背脂肪
 - ii. 第7肋骨背脂肪
 - iii. 第10肋骨背脂肪
 - iv. 最後肋骨背脂肪
 - v. 最後腰椎背脂肪
 - b. 背脂肪とロースの測定は、肋骨が付いた状態で行うことができます(図 1.2).
 - i. P2点背脂肪厚 - 通常、最終肋骨または第 10 肋骨の、正中線から 6.5cm の位置で測定されます。
 - ii. ロース芯深さ - P2背脂肪厚の測定点を起点としてロースの背側から腹側まで、皮膚の表面に垂直な方向から測定されます。
 - iii. ロース芯の大きさ(Loin-eye area) - ロース芯の総面積を測定します。これには評価用グリッドシートを用いるか、またはアセテート紙にロース芯の大きさをトレースし、その面積をプランメータにより測定する方法があります。
 - c. 背脂肪はイントラスコープで測定します(図 1.3).
 - i. ロース芯深さではなく、背脂肪のみ測定します。
 - ii. ライン速度の遅い屠場において、P2背脂肪を測定する代替りの低コストなオプションとして考えられます。

図 1.1 一般的な枝肉測定位置

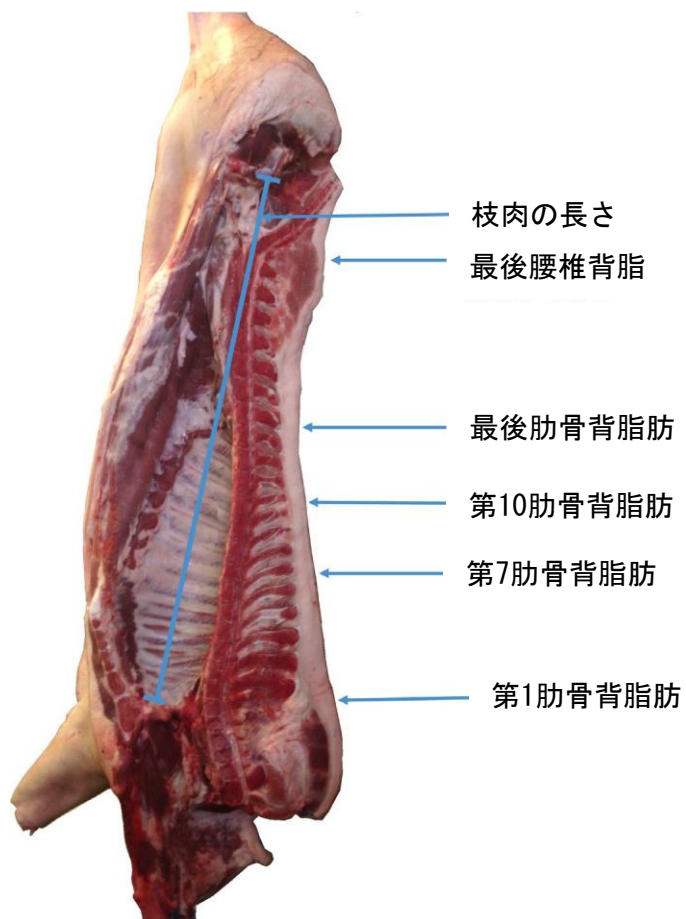
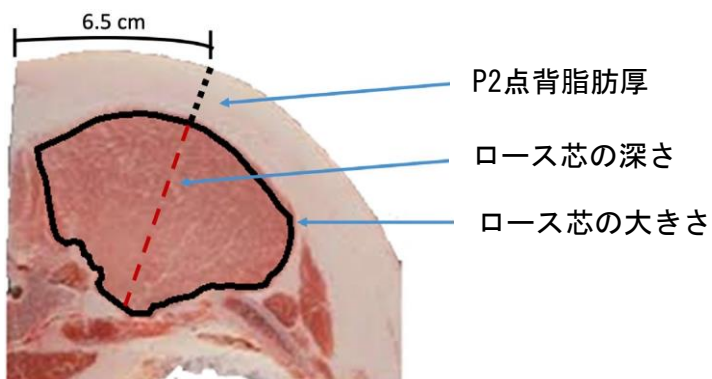


図 1.2 肋骨付き枝肉の評価



豚の筋肉学 ネブラスカ大学による写真提供

図 1.3 背脂肪厚の測定に使用するイントラスコープ



間接測定

1. 外観による評価

生体と枝肉両方の体型や見た目（またはマッスルスコア）は、世界の一部地域の市場において、価格決定や評価方法として使用されています。

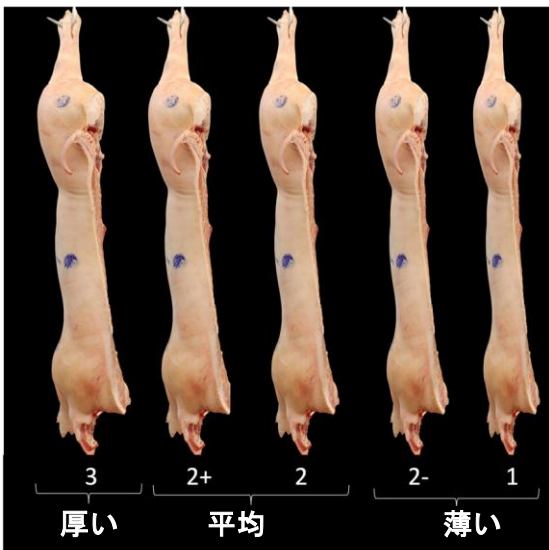
a. 生体の肉豚の体型

- i. 世界の一部地域には、買い手（仲買人）が、生体の体型を見て購入するところが多くあります。
- ii. 買い手は一般的に、より良い体型スコアを持つ豚により多く支払います。
- iii. 体型スコアは通常標準化されておらず、各買い手の裁量で決定されます。

b. 枝肉の見た目

- i. 世界の一部市場では、枝肉の視覚的評価は、製品需要に応じた枝肉の選別に使用されています。そして、直接的又は間接的に価格決定に考慮されることがあります。
- ii. 枝肉の見た目の採点もあり、これらのほとんどは枝肉の分類方法が類似しています。（図 1.4）。

図 1.4 枝肉の見た目による評価システムの例



Elisabeth Lonergan氏の写真を引用

2. 光ファイバープローブ

光ファイバープローブは、30年以上前から加工工場で枝肉構成の測定に広く使用されています。光ファイバープローブでは、背脂肪の厚さとロース芯の深さを測定可能です。これらの数値は、様々な計算式を用いながら、枝肉の赤肉割合やパーツの赤肉量を予測するのに役立ちます。

このプローブは、白っぽい脂肪や骨は赤身の組織の赤みとは異なる光を反射することを前提に動作します。この光の反射プロファイル（図 1.5）に基づき、プローブを挿入するとき（プローブのモデルによっては引き抜くとき）に、脂肪の深さとロース芯の深さを測定します。

背脂肪とロース芯深さの測定は、ロースの長さに沿ってどの位置でも可能です。しかし、ほとんどの測定は 第10 肋骨または最終肋骨の P2 位置で行われます。これらの位置は枝肉の赤身構成と最も高い相関性があるためです。

光ファイバープローブは、1時間あたり最大1,300頭のスピードで使用できるため、通常の屠場での使用には最適です。世界中の屠場で一般的に使用されている光ファイバープローブ（図1.6）の例としては、以下のようなものがあります。:

- a. Fat-o-Meat'er™ グレーディングプローブ
- b. Hennesseyグレーディング・プローブ (HGP)
- c. PG-100プローブ

図 1.5 脂肪とロース芯深さを測定するための光学式グレーディングプローブの光反射率プロファイル

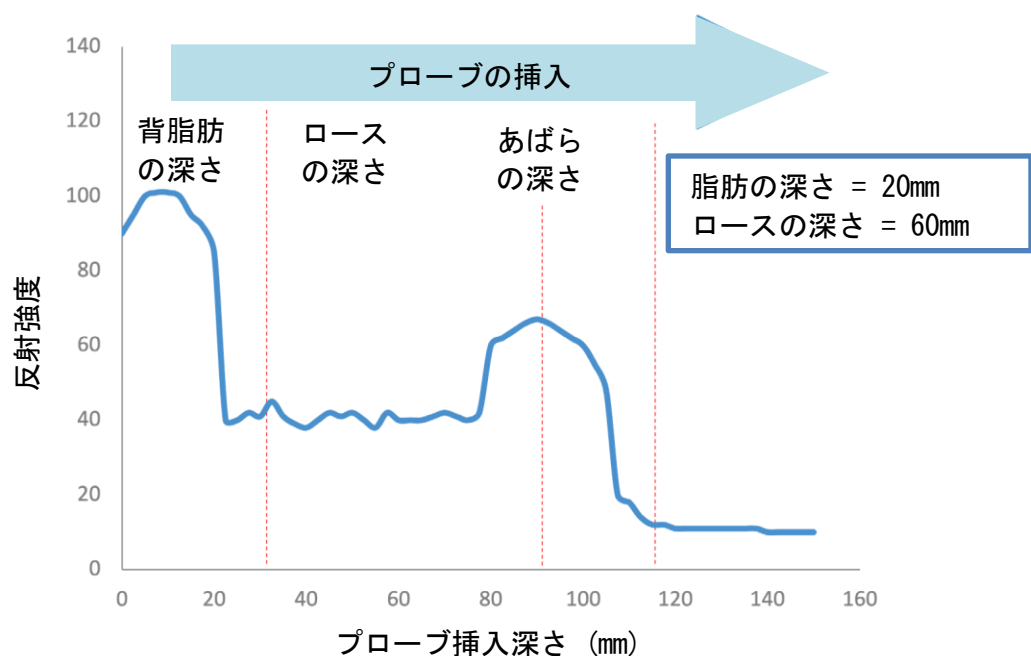


図 1.6 光学式グレーディングプローブの例



写真提供：Frontmatec (<https://www.frontmatec.com/>).

3. 超音波測定

超音波技術を使用して、生体と枝肉の両方の枝肉構成を推定することができますが、屠場での価格設定の際には、主に枝肉の時点で使用されます。

技術によっては、ロースの一部または枝肉全体の超音波測定を行うことができます。:

- a. BioQScanとCVTシステム(図1.7)は、ロースのサブセクションを測定する一般的な超音波診断装置です。
- b. 超音波診断装置AutoFOM(図1.8)は枝肉全体を測定します。AutoFOMは枝肉1頭あたり最大3,200カ所の測定が可能のため、商業用枝肉の格付けに使用されるシステムの中で最も詳細なシステムであると言えます。背脂肪やロース芯深さの測定に加え、個々のプライマル/サブプライマル重量に関する正確な情報を提供することができます。

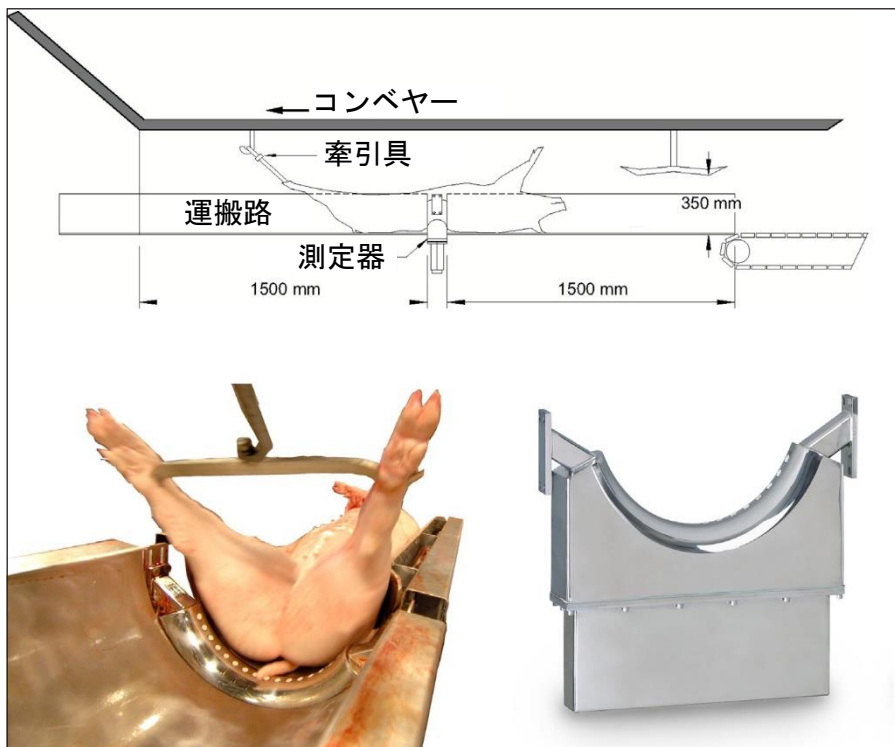
図 1.7 超音波枝肉測定装置



BioQscan®

写真提供: Biotronics: <http://www.biotronics-inc.com/>.

図 1.8 AutoFOM III システム

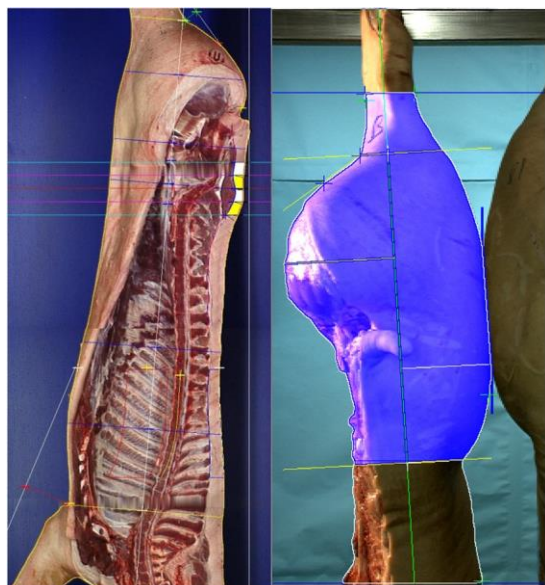


Frontmatec社の写真提供 (<https://www.frontmatec.com/>).

4. ビデオ画像解析

枝肉構成の評価にビデオ画像解析が使用されることはあまりありません。多くのシステムはロースの正中線の測定に重点を置いており、そこにももの評価も組み込んだシステムになっています(表 1.9)。枝肉の格付けに最もよく使用されているのは、CS 2000とCSB Image Meaterの2つのシステムです。

図 1.9 画像解析システムの例



VCS 2000 Image System

写真提供： e+V Technology GmbH & Co.

1.1.2 枝肉中の赤肉割合の計算

枝肉構成を推定する様々な方法の中で、赤身割合および(または)プライマルカットを予測する計算式を作る必要があります。多くの国では、標準的な計算を行えるようにするために、承認した格付け機器の種類ごとに、国が計算式を定めて、その使用を義務付けています。その他の国では、各企業が選択した格付け方法に対して、独自の計算式を作成し検証することを認めています。

これらの計算式はそれぞれ独自の方法で作られたもので、枝肉の全解体や部分解体を行うものもあれば、プライマルカットの割合の予測を用いるものもあります。したがって、赤肉割合は、同じ枝肉でも計算式によって異なる場合があります。

表 1.1は、背脂肪 15 mm、ロース芯の深さ 65 mm の豚の赤肉割合を推定する場合における計10ヵ国の計算式です。これらの計算式から算出される赤肉割合は、背脂肪とロース芯の深さが同じであるにもかかわらず、57.0%から 69.1%の範囲となっています。これは、一方の計算式が他方より優れているということではなく、これらの計算式が赤肉割合を定義するために異なる方法を用いて開発されたことを示しています。

表 1.1 各国の計算式で算出した背脂肪15mm、ロース芯深さ65mmの豚の赤肉割合

国	機器	切片	背脂肪係数	ロース芯深さ係数	赤肉割合
チェコ	Fat-O-Meater	59.8613	0.7293	0.1285	57.3
クロアチア	Hennessey Grading Probe	59.6037	0.8640	0.1820	58.5
フランス	UltraFOM	66.4900	0.8910	0.1040	59.9
ドイツ	Fat-O-Meater	61.8000	0.8830	0.1550	58.6
オランダ	CGM	66.8600	0.6549	0.0207	58.4
ポーランド	CGM	50.1193	0.6242	0.2698	58.3
ルーマニア	Fat-O-Meater	60.2699	0.8151	0.2010	61.1
スペイン	Fat-O-Meater	64.5300	0.8760	0.1810	63.2
南アフリカ	Hennessey Grading Probe	72.5114	0.4618	0.0547	69.1
米国(SFK方程式)	Fat-O-Meater	58.9000	0.6100	0.1120	57.0

$$\text{赤肉割合} = \text{切片} - \text{背脂肪厚(mm)} \times \text{背脂肪係数} - \text{ロース芯深さ(mm)} \times \text{ロース芯深係数}$$

これらの計算式の開発は、膨大な作業を必要とする困難なプロセスです。統計的に有効で、屠場での運用が可能な計算式を得るためには、計算式の開発に使用する群のばらつきが鍵となります。試験枝肉は、屠場での格付けで予想される重量、背脂肪、ロース芯深さの全範囲が均等に分布していることが重要です。

分布の裾は、通常最も低い頻度で検出されますが、統計的に正しい計算式を開発するために特に重要なものです。計算式が複数の遺伝子型で使用される場合、計算式はすべての異なる遺伝子型からのデータを使用して開発する必要があります。格付けされる豚や枝肉の性別も同様です。

1.1.3 枝肉価格の決定方法

枝肉価格の決定方法は企業によって、また企業内でも屠場によって異なる場合がありますが、ひとつの国の中ではある程度の標準化がなされています。ほとんどの価格決定方法は重量に基づいており、屠場によって、生体重または格付けされた枝肉重量のいずれかを使用します。

ほとんどの国では、基準価格の設定方法が標準化されています(表 1.2)。基準価格は通常、国内または地域内の平均重量価格から決定されます。基準価格は、各屠場がその豚をいくらで購入するかによって、実際には異なる場合があります。

表 1.2 各国における価格設定の基準

国	重量の種類	基準
アメリカ	枝肉	\$/100ポンド
メキシコ	生体重	\$/kg
カナダ	枝肉	\$/100kg
コロンビア	生体重	\$/kg
ブラジル	生体重	R\$/kg
チリ	生体重	\$/kg
スペイン	生体重	€/kg
ドイツ	枝肉	€/kg
オランダ	生体重	€/kg
デンマーク	枝肉	kr/kg
ロシア	生体重	₽/kg
イタリア	生体重	€/kg
ウクライナ	生体重	₴/kg
ポーランド	枝肉	zł/kg
ルーマニア	生体重	lei/kg
フランス	枝肉	€/kg
イギリス	枝肉	£/ 100kg
オーストラリア	枝肉	\$/kg
南アフリカ	枝肉	R/kg
フィリピン	生体重	₱/kg
中国	生体重	¥/kg
ベトナム	生体重	VND/kg
韓国	枝肉	₩/kg

例えば、1kgあたりの基準価格で販売される国を考えてみます。このとき、基準価格は前もって設定されています。その後、様々なインセンティブプログラムを通じて価格が調整され、それにより加工場が望む肉豚とはどういった豚なのかが生産者に対し方向付けされることになります。

これらの支払いシステムのうち最も基本的なものは、重量のみを使用する方法です。図1.10は、枝肉重量 (kg) に基づく支払いシステムの例です。この屠場は、82～95kgの枝肉重量範囲内の豚を希望していることがわかります。枝肉重量が希望範囲から離れるほど、枝肉価値のディスカウントは大きくなります。このようなシステムにより、生産者は屠場に望ましい重量の豚を提供することができます。図1.11は、図1.10の支払いシステムを使用した屠場で、約65,000頭の豚を屠畜した結果です。この例では、ほぼ66%の豚が理想的な体重の範囲で取引されました。1kgあたり-0.35ドルから-0.75ドルのディスカウントを受けた豚は、わずか1.5%でした。

図 1.10 重量価格決定システムの例

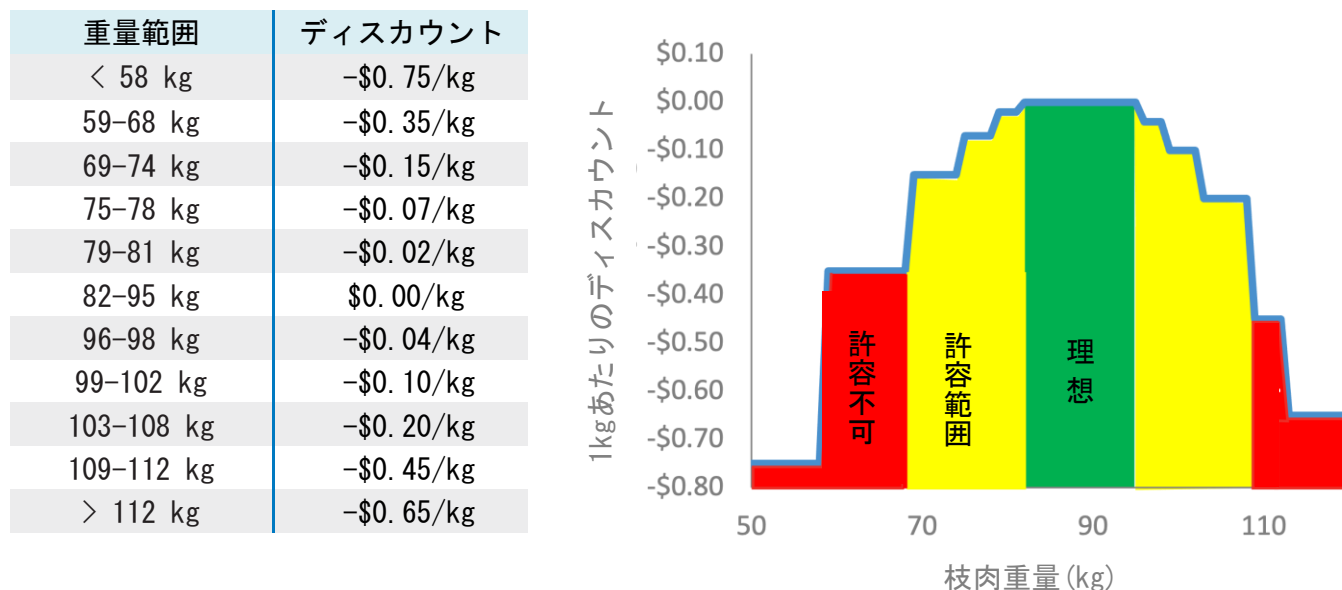
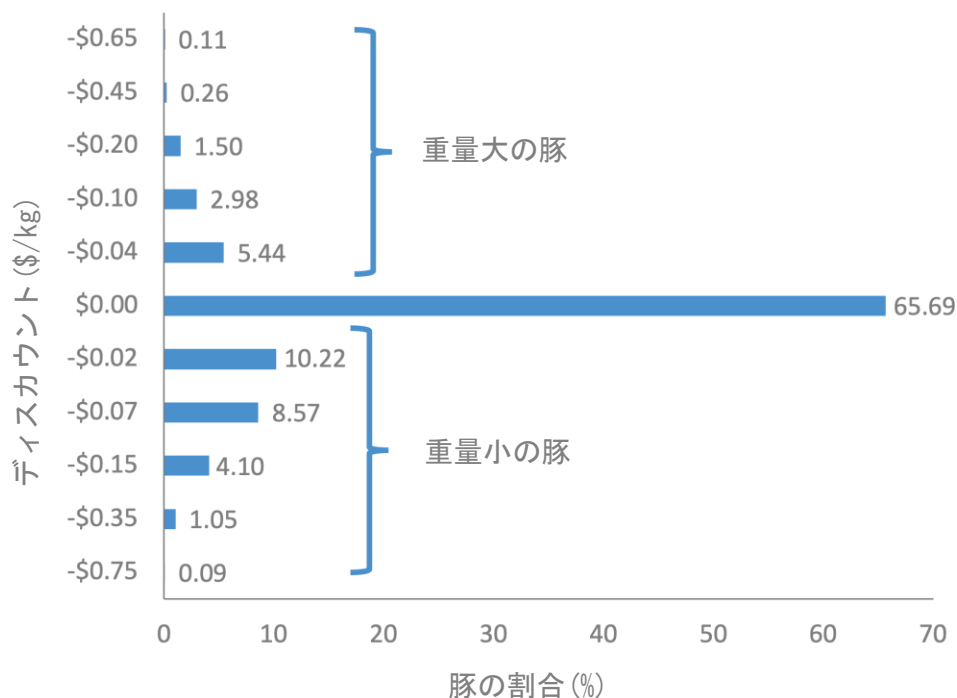


図 1.11 出荷重量による価格決定の場合のディスカウントの結果^a



^a5つの生産者から出荷され米国の大規模加工工場で処理された計64,669頭の豚のデータ

これは実際に使用される多くの方法の一例にすぎません。これらの方法は、重量ディスカウントのカテゴリの数が異なる場合もあれば、屠場の要望に応じて特定の重量カテゴリーにプレミアが付くこともあります。

赤肉割合による価格決定も一般的な方法です。図1.12は、枝肉の赤肉割合に基づく支払いシステムの例で、図1.10の重量ディスカウントの例と組み合わせて使用されるものです。この例において、屠場は赤肉割合が51%～60.9%の枝肉を希望しています。赤肉が51%未満の枝肉にはディスカウントが適用されます。この価格決定システムは、農場の出荷戦略にも影響を与えます。豚の約81%が赤肉割合の理想的な範囲にありましたが、許容できない範囲にあったのはわずか6.5%でした(図1.13)。重量ベースおよび赤肉割合ベースの2つの例は、インセンティブが、適切な豚を出荷するための戦略にどのように影響するかを示しています。

図 1.12 赤肉割合による価格設定システムの例

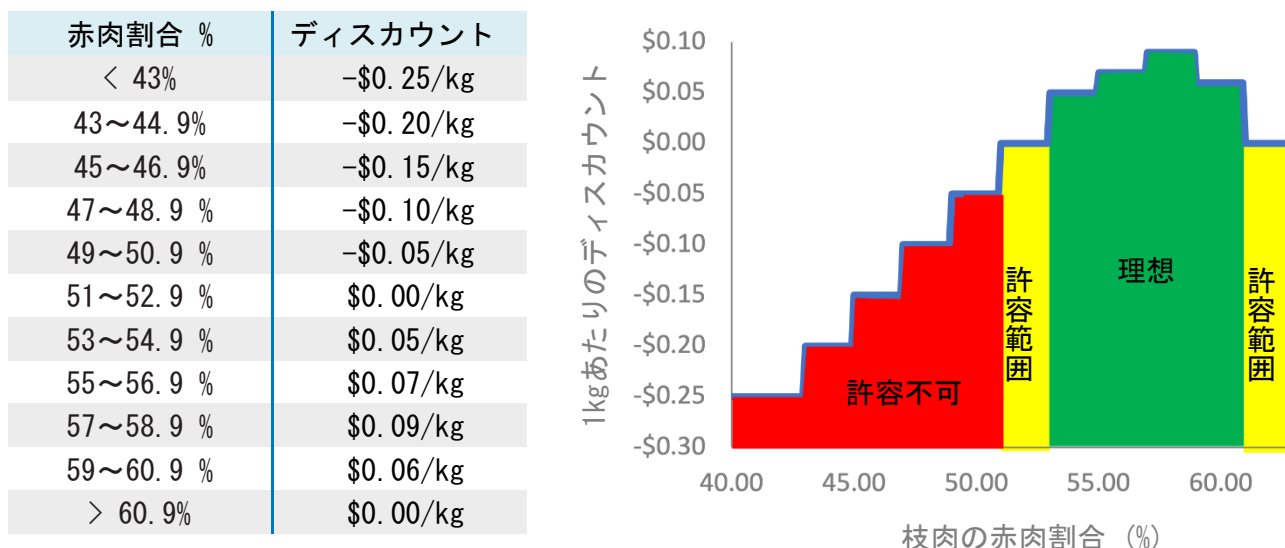
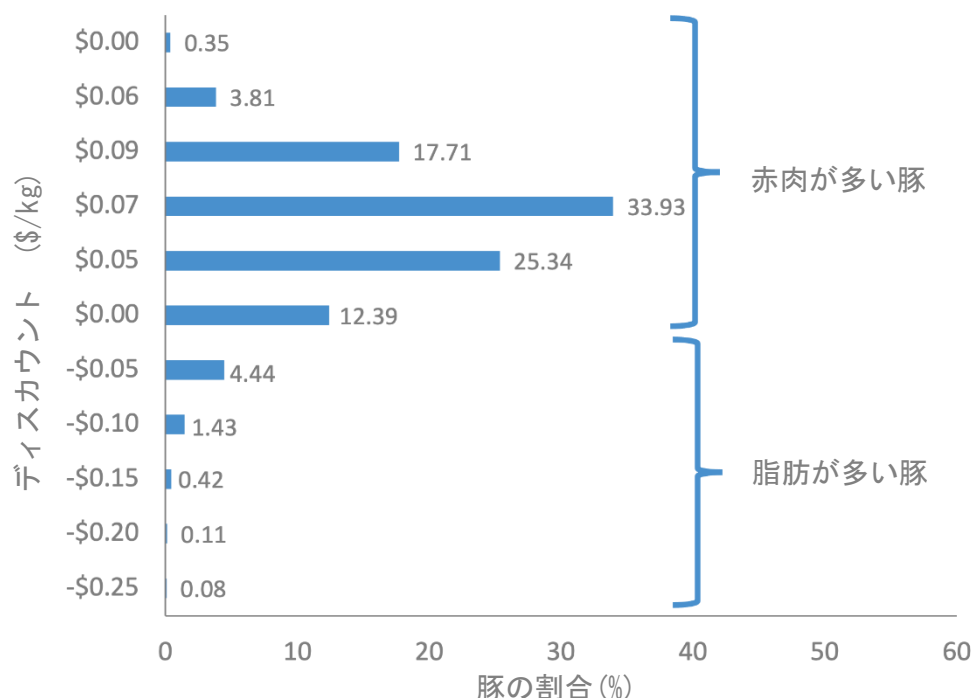


図 1.13 枝肉の赤肉割合による価格決定の場合のディスカウントの結果^a



^a5つの生産者から出荷され米国の大規模加工工場で処理された計64,669頭の豚のデータ

このほかにも、世界中で様々な価格決定方法が利用されています。一例として、EUで使用されているSEUROP（表 1.3）があります。このシステムは、赤肉割合に基づいて格付けまたはクラスを割り当てます。この分類システムはEU全体で標準的となっていますが、実際の格付けごとの価格は各屠場によって異なる場合があります。ある会社は「S」クラスの枝肉に対して1kgあたり5ユーロセント増しで支払う一方で、別の会社は枝肉1kgあたりわずか2ユーロセント増にしながら基準価格を高くするという方法をとることもあります。

表 1.3 欧州連合SEUROP赤肉分類システム

SEUROPコード	赤肉割合 (%)
S	> 60%
E	55 to 60%
U	50 to 54.9%
R	45 to 49.9%
O	40 to 44.9%
P	< 40%

どの屠場がより多く、または少なく支払うかを判断することは、各格付けにどの屠場がより高い割増料金を提供するかというような単純なことではありません。この格付けシステムはヨーロッパ全域で使用されていますが、どの価格決定にも使用されているというわけではありません。ドイツを見てみると、大規模な屠場の多くがAutoFOMを使用してプライマルカット重量と赤肉割合を見て価格を決定しています。この方法は、枝肉の最終的な価格を決定するインデックスポイントを計算するシステムの一部として、プライマルカット重量、バラ赤肉割合および枝肉重量（図 1.14）を使用しています。

このほかにも、ロシアで採用されているような固有なシステムが存在します（表1.4）。このシステムの主な構成要素は、枝肉重量の測定と第6肋骨と第7肋骨の間の背脂肪の厚さの測定です。枝肉の代金を生産者に支払い、その枝肉を加工業者に販売しているような屠場では、このシステムが使用されていますが、ほとんどの大手インテグレーターではこの格付けシステムを採用していません。

表 1.4 ロシアの枝肉格付け規格（GOST）

等級 ^a	定義	枝肉重量 (kg)	背脂肪厚 ^b	Kgあたり価格
1	去勢及び雌 ^c	皮付き - 47~68 kg ^d 皮付き - 52~75 kg ^e	20 mm以下	140.00 ₺
2	去勢及び雌	皮付き - 47~102 kg ^d 皮付き - 52~113 kg ^e 皮剥ぎ - 45~91 kg	30 mm以下	138.00 ₺
3	去勢及び雌	皮付き - 102 kgまで ^c 皮付き - 113kgまで ^d 皮剥ぎ - 91 kgまで	30 mm超	135.00 ₺

^a肉豚以外の豚の等級も存在する（4＝母豚、5＝3～7kgの仔豚、6＝雄豚）

^b第6肋骨と第7肋骨の間の正中線上で測定

^c皮膚にキズ、ケガ、血痕がないもの

^d頭部、前脚、尻尾を除去した状態

^e頭、前脚、尻尾を除去していない状態

図 1.14 ドイツの屠場で使われているAutoFOMによる支払いシステム

骨なしロース 重量 (kg)	インデックス係数	バラ赤肉割合 (%)	インデックス係数
< 6 kg	2.5	< 45%	1
6~6.5 kg	2.75	45~49.99%	1.05
6.6~7.5 kg	3.6	50~54.99%	1.5
7.1~8 kg	3.4	55~59.99%	1.8
> 8 kg	3	≥ 60%	1.7

骨なしハム 重量 (kg)	インデックス係数	枝肉重量 (kg)	インデックス係数
< 15kg	1.8	< 85 kg	-1
15.0~17.0 kg	2.3	85~87.99 kg	-0.5
17.1~18.5 kg	2.75	88~102 kg	0
18.6~21 kg	2.5	102.1~105 kg	-0.5
> 21 kg	2	> 105 kg	-1

- * ロース（またはもも）の重量でインデックス係数を決定し、ロース（またはもも）の重量にインデックス係数を掛けてインデックスポイントを求めます。
- * バラ赤肉割合からバラのインデックス係数を求め、バラ重量にインデックス係数を掛けてインデックスポイントを決定します。
- * 枝肉重量が理想的な範囲を外れている場合は、実際の重量と理想的な重量範囲との差にインデックス係数を掛けます。

例:

- 枝肉重量82kg のとき : $88 - 82 = 6$ $6 \times -1 = -6$ インデックスポイント。
- 枝肉重量105kg のとき: $105 - 102 = 3$ $3 \times -0.5 = -1.5$ インデックスポイント

- * インデックスポイントの最小値は70点、最大値は104点です。

例 1				例 2			
	重量 or %	INDEX 係数	INDEX ポイント		重量 or %	INDEX 係数	INDEX ポイント
骨なしロース	8.0 kg	3.40	27.2	骨なしロース	7.3 kg	3.40	24.82
骨なしもも	18.5 kg	2.75	50.875	骨なしもも	19.0 kg	2.50	47.5
バラ赤肉	59.00 %	1.80	-	バラ赤肉	54.68 %	1.50	-
バラ重量	14.2 kg	-	25.56	バラ重量	16.0 kg	-	24
枝肉重量	100 kg	0	0	枝肉重量	105 kg	-0.5	-1.5
	インデックス ポイント合計		103.64		インデックス ポイント合計		94.82
	ベース単価(\$/kg)		\$1.30		ベース単価(\$/kg)		\$1.30
	調整単価(\$/kg)		\$1.35		調整単価(\$/kg)		\$1.23

体重と赤肉割合が利益の主な要素ですが、他の要素も影響を与える可能性があります。体重のバラツキを最小限に抑えるために、均一性に対して特別料金を支払っている加工場もあります。世界中の多くの屠場が脂肪の質を測定しており、これにより生産者に支払われる金額も影響を受けます。これは通常、生産者が一定期間にわたって満たす必要のある最低基準値(脂肪ヨウ素価)に基づいて決定されます。一部の国では、雌や去勢よりも雄豚の価格は低く設定されています。

要約すると、加工場ごとに支払い金額に差がある可能性があります。支払いシステムのわずかな差異は、体重、枝肉構成、およびどのタイプの豚が最も高い純利益を受け取るかを決定するその他の要素に影響を与える可能性があります。

1.2 プライマルカットとサブプライマルカット

豚肉は世界的に取引されている商品であるため、枝肉のカットは世界中で、特に大規模な加工屠場でほとんど標準化されています。ほとんどの場合、枝肉は最初に”メインブレイク”と呼ばれる工程を経ます。このプロセスでは、比率は異なりますが、枝肉は3分の1にカットされます。これらの3分の1には、もも/脚、ミドル（ロースとバラ）および肩が含まれます（図1.15）。そこからカットプロセスが進むにつれて、さらにプライマルカットになります。

主な6つのプライマルカット

1. 骨付きもも
2. 骨付きロース
3. バラ
4. スペアリブ
5. 肩ロース
6. うで

これらのプライマルカットは、さらにサブプライマルに分けられます。プライマルカットとサブプライマルカットは、企業や屠場のカット方法によりわずかに異なる場合がありますが、一番大きいのは世界の地域ごとの違いです。これらの違いについては、このセクションの後半で説明します。部位の名前も世界中で異なり、これらの違いについても説明します。図1.16、1.17および1.18は、枝肉をプライマルカットとサブプライマルカットに分ける方法の北米における例を示しています。

図 1.15 枝肉のプライマルカット

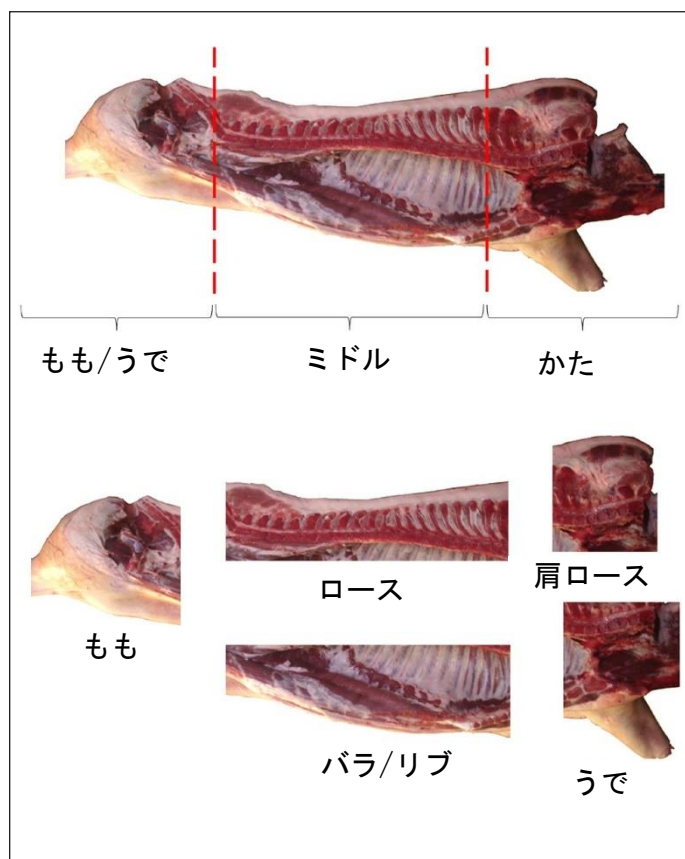


図 1.16 もものプライマルカットと主なサブプライマル

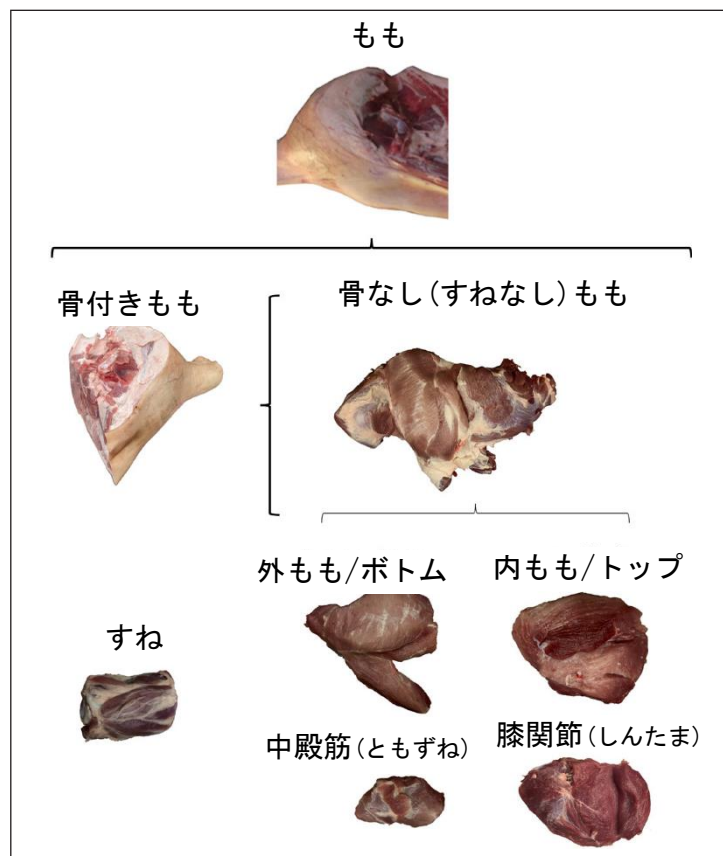


図1.17 ミドルのプライマルとサブプライマルカット

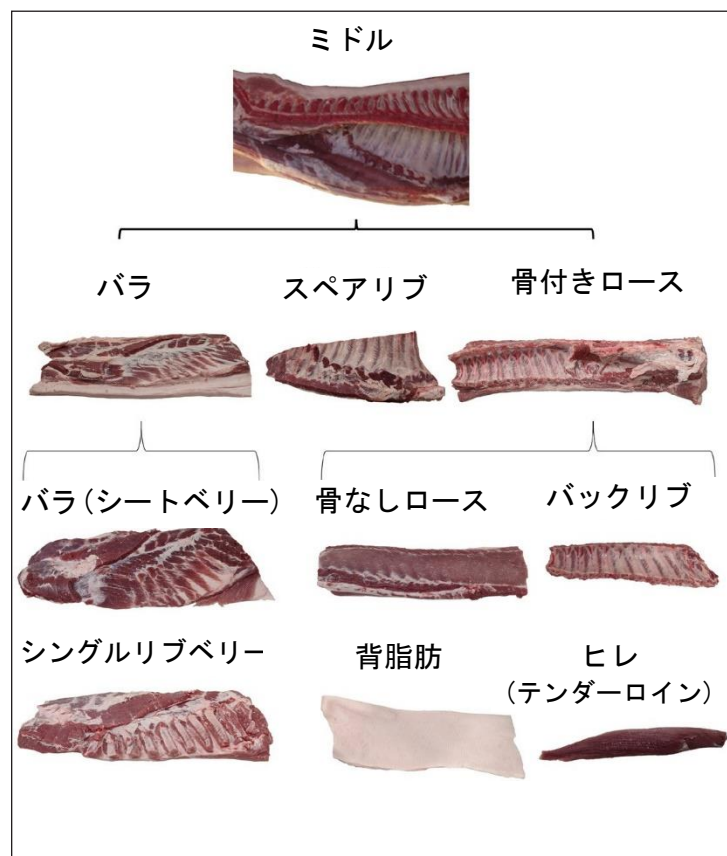
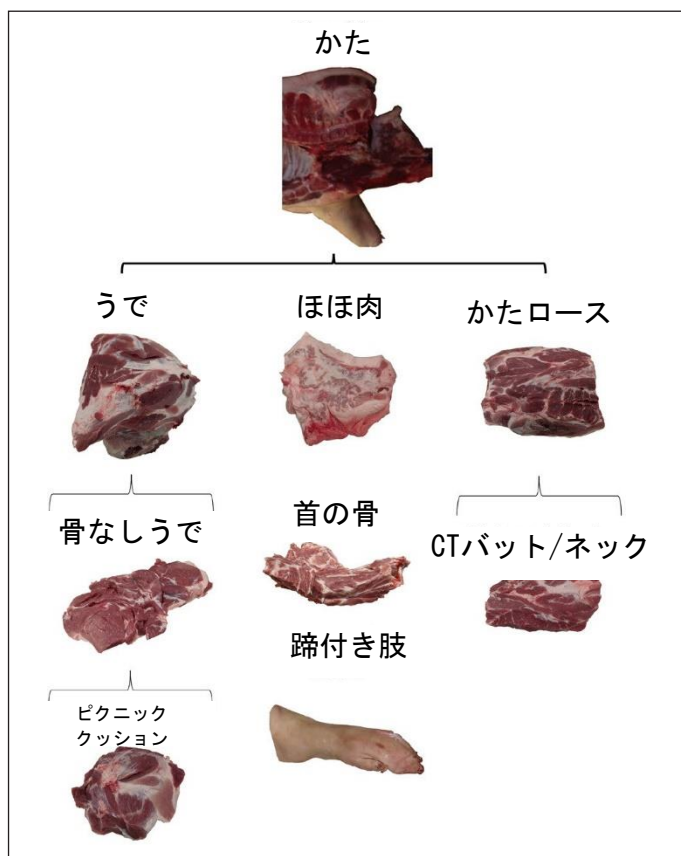


図 1.18 かたのプライマルとサブプライマルカット



1.2.1 地域差

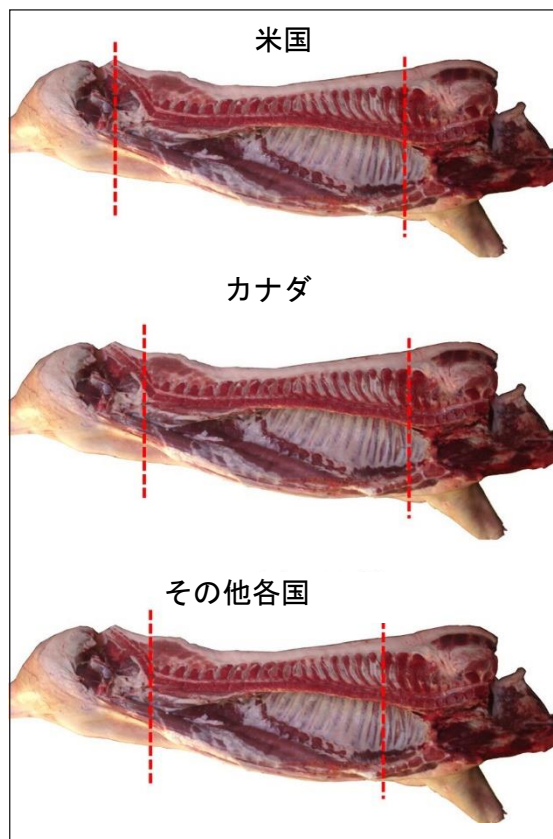
図1.19は、世界の各地域によるもも、ミドル(腹部)、かたの分け方の主な違いを示しています。

米国とカナダにおいて、ももは通常同じ位置で臀部の骨の前方約3.8～8.8cmで切除され、脚に対して垂直に切断されます。多くの地域でも、ももは脚に対して垂直に取り除かれますが、ロース部位のサーロイン部分も含まれます。そのため、枝肉の解体の違いにより、米国とカナダ以外において骨付ももははるかに大きくなります。

かたの部位も世界中で異なる方法によりミドルから切除されます。米国では、第1肋骨と第2肋骨の部位で分けられますが、カナダでは第2と第3肋骨で切除されます。その他のほとんどの地域では、第4と第5肋骨の間で分けられます(“4-5 break”と呼ばれます)。これらの違いにより、米国とカナダは他の地域と比較して、ロースとばらの重量がかなり重くなります。

※日本は第4と第5肋骨の間で分ける
(公益社団法人日本食肉格付協会HPより)

図 1.19 主な枝肉カット方法の違い



1.3 枝肉歩留り

1.3.1 枝肉歩留りとは？その重要性は？

枝肉歩留りは誤解されていることが多く、専門用語としてもよく誤用されます。カット歩留りと枝肉歩留りは完全に異なる用語であるため、同じ意味として使用しないことが重要です。

枝肉歩留りは、生体から処理された枝肉の量です。カット歩留りは枝肉からカットした部分肉の量です。枝肉歩留りは割合で表されます。単純に枝肉重量を生体重で割り、100をかけて算出します(図1.20)。

多くの加工場では、生産者に対し枝肉歩留りの情報を提供しているため、生産者においては枝肉歩留りが農場運営にとって重要なものであるとしばしば考えられてきました。しかし、多くの場合、枝肉歩留りは重要ではありません。重要なのは、生産者が生体重ベースで支払われるのか、枝肉重量ベースで支払われるのかということです。

図 1.20 枝肉歩留りの計算方法

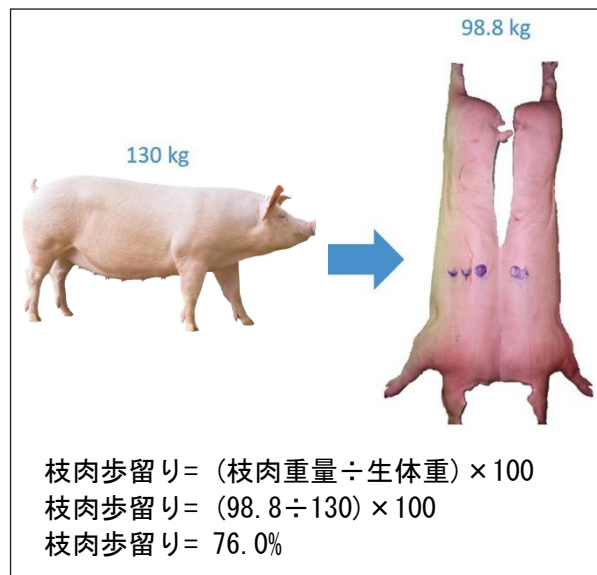


図1.21には2つの異なるシナリオを使用した生体重と枝肉重量に基づく支払いの計算方法が書かれています。シナリオ1では、枝肉重量が同じで生体重が大きいことにより歩留りが下がる場合を表しています。このシナリオでは、枝肉ベースでの支払いは同じ枝肉重量であれば同額になりますが、生体重ベースでは生体重が増加するほど増額します。

これは、生体重ベースの支払いでは、屠場が同じ大きさの枝肉に対してより多く支払うことを意味します。このシナリオでは、歩留りが低い豚における枝肉1kg当りの調達コストが高くなるため、屠場にとっては不利になります。歩留りが低い豚を飼養している生産者にはメリットがあり、より少ない枝肉でより多くのお金を受け取ることができます。

シナリオ2では、生体重は同じで枝肉重量が増加したことで、枝肉歩留りが高くなる場合を表しています。このシナリオでは、生体重ベースでの支払いのため同じ体重の豚に対して同額が支払われます。枝肉重量ベースでは、枝肉重量が増加するごとに支払額が増加します。そのため、屠場は生体重ベースで支払う場合には、より大きい枝肉重量（より高い歩留り）に対してより少ない金額が支払われることになります。

このシナリオでは生体重ベースを使用すると、枝肉1kg当りの屠場の調達コストが増加するにもかかわらず生体重1kg当りの価格は変わらないため、屠場にとって有利になります。歩留りが高い豚を飼養している生産者にとっては不利であり、豚1頭当りの枝肉重量が多くなると枝肉1kg当りの受け取る金額が少なくなります。

価格決定が枝肉重量に基づいている場合、究極的には歩留りは重要ではないことがポイントです。言い換えると、生産者も屠場も枝肉歩留りを重視するメリットはあまりありません。枝肉歩留りには多くの要因が影響を与える可能性があるため、枝肉重量に基づくことが商業上最も一般的で望ましいです。

図1.21 生体重ベースと枝肉重量ベースによる金額の差

生体価格 1.19 €/kg		枝肉価格 1.50 €/kg		シナリオ1 - 枝肉重量は変わらず生体重が大きい場合 シナリオ2 - 生体重は変わらず枝肉重量が大きい場合	
生体重	枝肉重量	枝肉歩留り	価格（生体重）	価格（枝肉重量）	
110	88	80.0	€ 130.35	€ 132.00	シナリオ1
111	88	79.3	€ 131.54	€ 132.00	
112	88	78.6	€ 132.72	€ 132.00	
113	88	77.9	€ 133.91	€ 132.00	
生体重	枝肉重量	枝肉歩留り	価格（生体重）	価格（枝肉重量）	
110	86	78.2	€ 130.35	€ 129.00	シナリオ2
110	87	79.1	€ 130.35	€ 130.50	
110	88	80.0	€ 130.35	€ 132.00	
110	89	80.9	€ 130.35	€ 133.50	

1.3.2 枝肉歩留りに影響を及ぼす要因

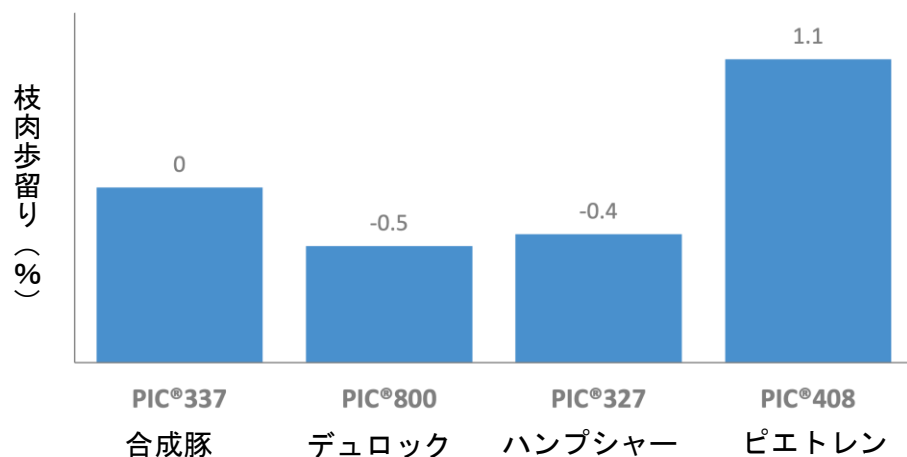
枝肉歩留りに影響を与える主な6つの要因：

1. 遺伝/性別/体重
2. 餌切り/腸の内容物
3. 栄養
4. 体重の正確性
5. 体重を測定した場所
6. 枝肉の整形過程

遺伝/性別 /体重

豚の遺伝子型、性別、体重はすべて枝肉歩留りに影響を与えます。図1.22は、品種や掛け合わせによる枝肉歩留りの違いを示したPIC社のチームによる分析データです。ピエトレン種 (PIC408) は明らかに枝肉歩留りが最も高く、次いで交雑種 (PIC337)、ハンプシャー種 (PIC327)、デュロック種 (PIC800) です。

図 1.22 遺伝子型が枝肉歩留りに及ぼす影響*



* PIC社プロダクトバリデーションにおける複数試験に基づくデータ

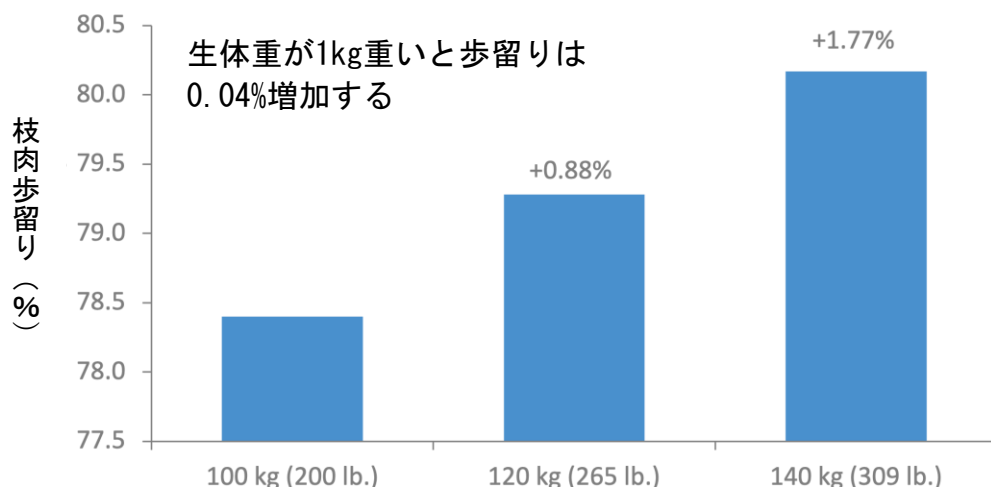
性別に関して、表1.5は去勢と雌の枝肉歩留りの差を決定した7つの異なる試験を示しています。結果には一貫性がなく、4つの試験では去勢の歩留りが高く、3つの試験では雌の方が高い結果でした。全体的に、去勢は雌より平均0.10%歩留りが高くなりました。”Xue et al. (1997)”の文献レビューでは、15本の文献情報を含み、去勢は雄豚よりも平均0.92%歩留りが高い結果となりました(生殖器の重量の差が主に影響を及ぼしました)。

表 1.5 枝肉歩留りに対する性別の影響

文献	去勢	雌	差
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			0.10

図1. 23は、枝肉歩留りに対する生体重の影響を判断するために、7つの文献ソースからデータをまとめたものです。試験の生体重は91～182kgの範囲でした。生体重量と枝肉歩留りの関係を表す回帰式は試験ごとに計算されました。次に、すべての試験の平均値を使用し、図中のデータを算出しました。それによると、枝肉歩留りは生体重が1kg増加するごとに0. 04%増加しました。

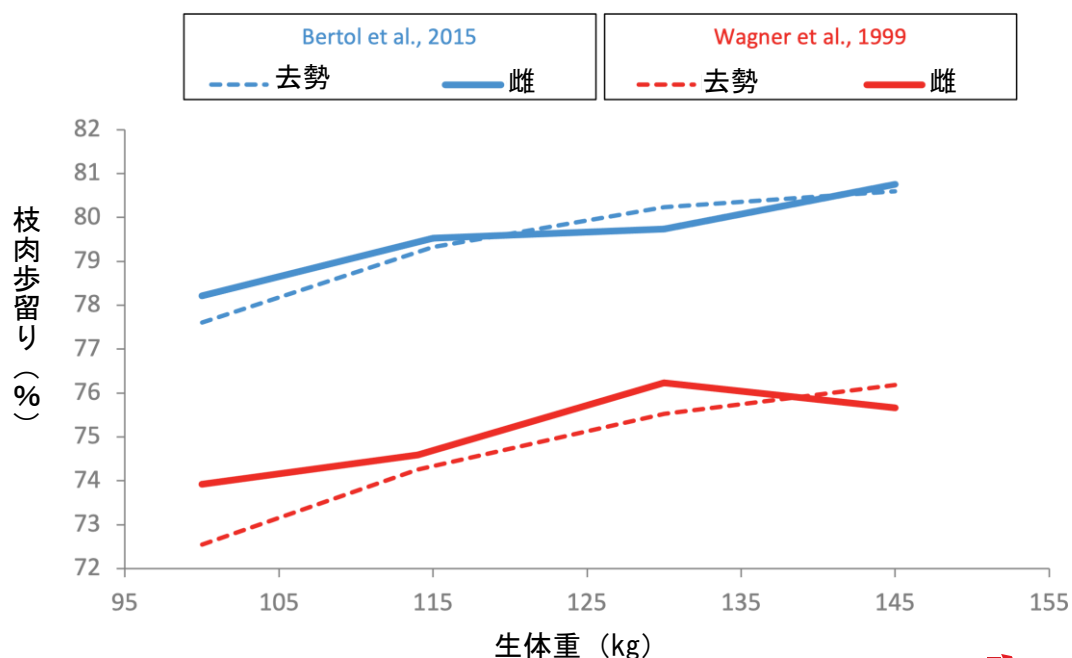
図 1. 23 枝肉歩留りに対する生体重の影響※



※屠畜体重91～182kgにおける7つの試験の分析に基づくデータ
(Christian et al., 1980; Latorre et al., 2008; Apple et al., 209; Virgili et al., 2003; Crome et al., 1996; Bertol et al., 2015; and Wagner et al., 1999)

図1. 24は枝肉歩留りに対する性別と生体重の相互作用の影響を示しています。体重が軽くなるほど、雌の歩留りが去勢と比べて高くなりました。体重が増加するにつれて差は低減し、去勢は体重が重いと雌と比べてより高い歩留りまたは同程度となりました。これは、表1. 5のデータで観察された去勢と雌の一貫性の無さを説明している可能性があります。

図 1. 24 枝肉歩留りに対する生体重と性別の相互作用



腸の内容物/餌切り

枝肉重量に含まれない生体重の主な構成要素は、内臓、生殖器、血液、毛、蹄、頭部（頭部切除でない場合）です。内臓は枝肉重量に含まれない最も大きな生体重の構成要素です（約14%）。

消化管は内臓の大部分を占めています。消化管の重量は、消化管内の飼料と水の量による影響を受ける可能性があります（腸の内容物）。腸の内容物が枝肉歩留りに及ぼす影響を判断するために表1.6の計算を使用すると、内容物1kg当り枝肉歩留りが0.60%（頭部切除）または0.64%（頭部付き）減少します。腸の内容物を管理することは、枝肉歩留りを増やし、バラツキを減らすための重要な要素です。

表 1.6 枝肉歩留りに対する腸の内容物の影響

形質	頭部なし枝肉		頭付き枝肉	
	内容物 0kg	内容物 1kg	内容物 0kg	内容物 1kg
生体重 (kg)	125	126	125	126
枝肉重量 (kg)	95	95	101.25	101.25
頭部 (5%), kg	6.25	6.25	0	0
毛/血液/蹄 (6%), kg	7.5	7.5	7.5	7.5
内臓 (14%), kg	16.25	17.25	16.25	17.25
枝肉歩留り (%)	76.00	75.40	81.00	80.36

内容物1kg当りの影響

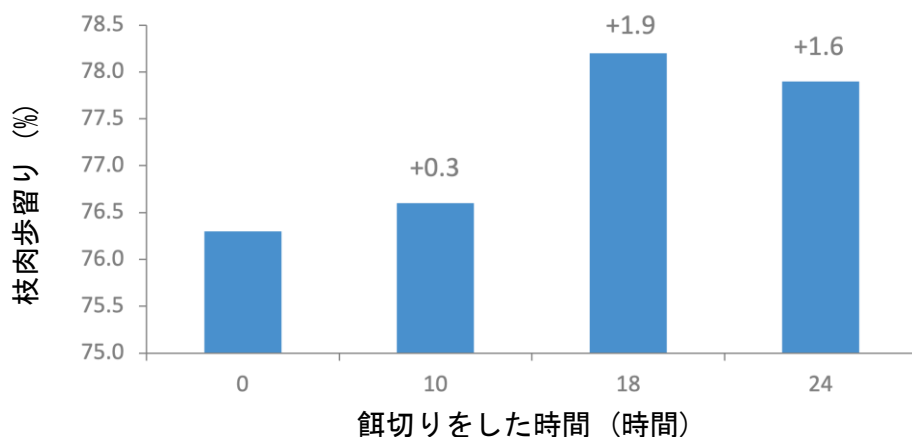
-0.60

-0.64

屠畜前の餌切りは、腸の内容物を低減するために行われることもあります。大規模なコマーシャル農場での試験では、餌切りの時間が長くなると枝肉歩留りが多くなることを示唆しています（図1.25）。10時間餌切りをすると効果は小さいですが、18時間にすると枝肉歩留りは約2%増加します。

しかし、過剰な餌切りを行うと枝肉歩留りが低下する可能性があります。18時間と24時間の餌切りの差はごくわずかですが、24時間と30時間の餌切りの差は顕著に見られました。これは主に枝肉中の筋肉量低下による可能性があります。

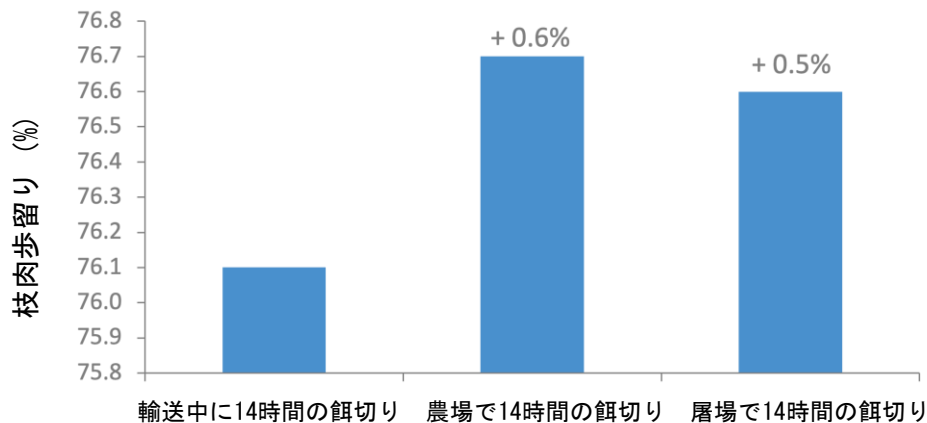
図1.25 枝肉歩留りに対する餌切りの影響*



*コマーシャル農場で行った試験。非公表データ。

餌切りのタイミングも影響を及ぼす可能性があります。大規模なコマーシャルレベルでの試験では、14時間の餌切りが農場内、輸送中、屠畜加工場で行われた場合の違いを試験しました(図1. 26)。

図 1.26 餌切りが枝肉歩留りに及ぼす影響*



*コマーシャル農場で行った試験。非公表データ。それぞれ計17時間の餌切りを行った。

農場や屠場で14時間餌切りを行った場合、輸送中に14時間餌切りを行った場合よりも枝肉歩留りが高くなりました(消化管内容物が少ない)。これらの違いは、屠場で通常の腸機能を回復するための十分な休息がない状態で、ストレスによって輸送中の腸代謝が停止してしまうことが原因である可能性があります。

これらのデータは、腸の内容物を最小限に抑え、枝肉歩留りをコントロールするために、積載・輸送前にある程度餌切りをする必要があることを示唆しています。PIC社は豚を積載する前に最低6～8時間の餌切りを行い、輸送後豚が屠畜される前に少なくとも2～3時間ペンに収容して休息時間を取ることを推奨しています。理想としては、餌切りの合計時間(農場、輸送、屠場)が12～20時間となり、24時間以上にならないようにする必要があります。

餌切りが豚に悪影響を及ぼす可能性を考慮することも重要です。設備やマーケティング戦略によって、餌切りによる肉豚の選抜が制限されていない限り、肥育豚舎全体や農場内の給餌システムを停止します。これにより、その日に出荷されない豚の餌切りが起きます。

米国における大規模なコマーシャルレベルの試験では、豚舎がオールアウトされるときから最大4週間前から断続的に行われた餌切りでは事故率が0.25%増加する可能性が示されましたが、他の増体に関する形質に影響はありませんでした。しかし、欧州における大規模なコマーシャル農場での調査では、豚舎がオールアウトされる時点から遡って最大4週間前から断続的に行われた餌切りであってもその後の事故率に影響はなかったことを示しています。

この差は、両者の出荷前事故率の違いによって理由を説明することができます。米国の試験では、平均事故率は6%以上でしたが、欧州の試験では平均事故率2%未満でした。これは、特に出荷前の餌切りを検討する際に、その豚舎の豚の健康状態や餌切れリスクを考慮することが重要であることを示しています。

PIC社が推奨する餌切りの時間も肉質に良い影響をもたらすことを知っておくことが重要です。これについては、セクション3.2.3.2および3.3.2で説明します。

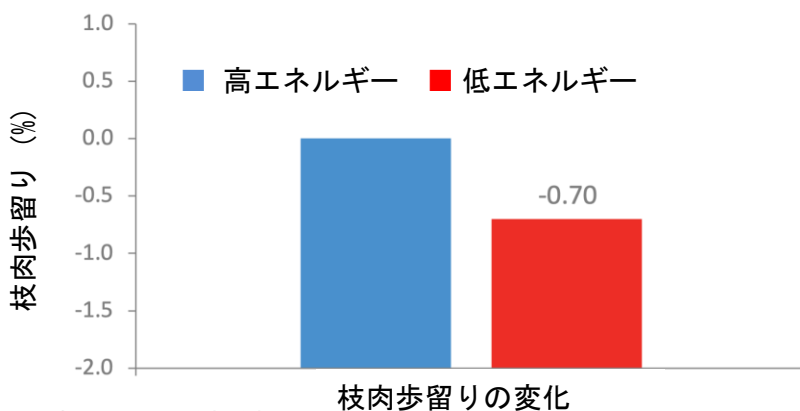
栄養

栄養に関する多くの側面が枝肉歩留りに影響を与える可能性があります。最も一般的なものの1つは、繊維を多く含む飼料を給餌することで、枝肉歩留りが低下します。

多くの研究で、トウモロコシ蒸留粕などの高繊維飼料原料の調査がされています。飼料中の高繊維原料レベルが増加するにつれて、枝肉歩留りが一貫して減少することが分かりました。この多くは高繊維飼料原料の摂取に関する腸の通過速度が低下することに起因しています。そのため、屠畜時の腸の内容物が多くなります。

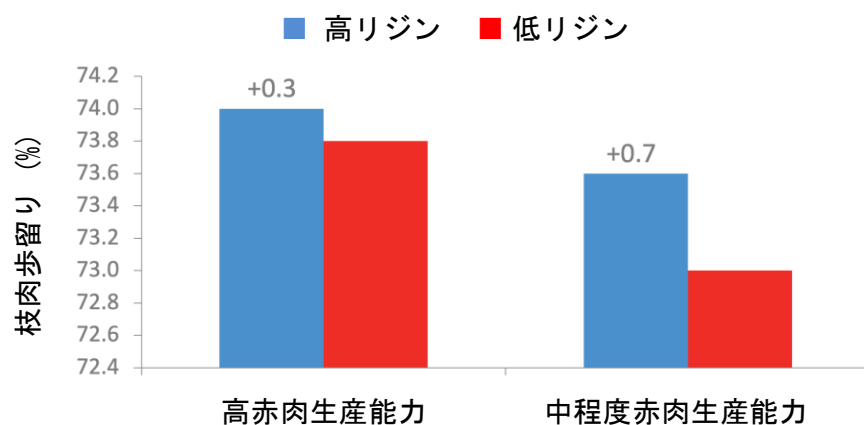
同様に、PIC社の研究では、飼料のエネルギーレベルを上げると（繊維レベルを下げると）、枝肉歩留りが増加することが示されています（図1.27）。アミノ酸レベルに関する他の研究では、結晶性アミノ酸とともにアミノ酸レベルを上げると、枝肉歩留りを増加させることができることを示唆しています（図1.28）。アミノ酸レベルを上げることによる効果は、繊維含有量の増加に関連しています。結晶性アミノ酸レベルが高くなると、飼料に添加される大豆粕の量が減少し、繊維レベルが増加するため、腸の内容物が多くなります。

図 1.27 枝肉歩留りに対する飼料エネルギーの影響*



* PIC社によるコマーシャル農場における試験

図 1.28 枝肉歩留りに対するリジンレベルの影響*



* Friese et al., 1994; Anim. Sci. 72:946-954からの引用

体重の正確性

体重の正確性は枝肉歩留り評価に大きな違いをもたらす可能性があります。体重計が頻繁に測定や校正されていないと、予想よりも低いまたは高い歩留りになる可能性があります。

さらに重要なこととして、歩留りを算出するための生体重は通常、トラックの積載量(トラックスケール)から取得されますが、枝肉重量は別の体重計で個別に測定されます。豚の生体重と枝肉重量における正確かつ一貫した評価は、枝肉歩留りの商業的影響を理解する上で重要です。

体重の測定場所

生体の測定場所は枝肉歩留りに大きな影響を及ぼす可能性があります。屠場の敷地内で生体重を測定する場合、通常、輸送前や輸送中に測定する場合よりも枝肉歩留りが高くなります。

これは、輸送中に豚の体重が減るためです(輸送中の体重減少)。損失量はさまざまですが、通常は1~2%の範囲です。例えば、体重が125kgで、屠場に到着した時の体重が123kg(1.6%の輸送収縮損失)であるとします。(頭付きの)枝肉重量が100kgの場合、算出された枝肉歩留りは、農場での生体重で80%、工場での生体重で81.3%になります。単に生体重が測定された場所と時間の違いにより枝肉歩留りに1.3%の違いがあります。

枝肉の整形過程

整形過程は枝肉歩留りに大きな影響を与える可能性があります。ほとんどの国では頭付きの枝肉です。米国では、枝肉重量を測定する前に頭部を切断します。頭部は生体重の4~5%を占め、枝肉歩留りに4~5%影響を与えます。通常、頭付きの歩留りは79~81%ですが、頭なしの歩留りは74~76%です。その他に歩留りに影響を及ぼす部分で除去される場合とそうでない場合がある部位は、腎臓脂肪、腎臓、肢、皮です。

処理中の過剰な整形過程上のロスも枝肉重量を変える場合があります、以下の要因で発生する可能性があります。

- 停留精巢や玉付きの肉豚
- 脱腸、臍ヘルニアなど
- 黒い毛根や硬い被毛
 - 皮剥ぎが必要
- 虫刺され、疾病、最適な健康状態でない
 - 皮膚の損傷
 - 肺の癒着
 - 病変した臓器
- ケガ、傷、あざ、膿瘍など
 - ペン内の鋭利な物(ボルト、ゲートの金具、給水器のニップル)
 - 骨折
 - 尾かじり
 - 闘争の痕
- 餌切り
 - 不十分な餌切り

過剰な整形過程上のロスは個々の枝肉に大きな影響を与える可能性がありますが、ロスが1頭だけの場合、トラック1台分全体の歩留りへの影響は目立たないことがあります。最大の影響は、全頭が何らかの形で病気になったり、危害を受けたりした場合に見られます(虫刺され等)。

セクション 2

理想的な肉質の実現とPIC社のブループリント



肉質は広く使用されている用語であり、さまざまな肉の形質を表しています。次の2つのセクションでは、肉質を定義し、肉質のさまざまな業界で重要な側面について説明します。

品質の一般的な定義は、「製品のサンプル間で差異を引き起こし、最終消費者による製品の評価に影響を与えるすべての特性を合わせたもの」です (Hoffman, 1994)。したがって、最終消費者に好まれる、または評価される特性に基づいて品質を定義します。最終消費者としては、もちろん消費者が最も重要となりますが、加工業者、卸売業者、小売業者も含まれる場合があります。

肉質は5つのカテゴリーに分けられます。:

1. 食品衛生と食品安全性
 - 豚肉が安全に食べられるかどうかに影響を与える可能性のある屠畜、ハンドリングおよび冷却工程の側面
2. 栄養成分
 - タンパク質、脂肪、炭水化物の組成、およびその栄養成分が最終消費者にとってどのように健康的であると認識されているかといった側面。
3. 倫理/動物福祉
 - 農場から屠場で屠畜されるまで、豚がどのように飼養されてきたかといった側面
4. 食味
 - 実際に豚肉を食べた感触
5. 技術
 - 豚肉の食味や加工適正を予測

これらの5つのカテゴリーのうち、衛生/食品の安全性、栄養成分、および倫理/動物福祉の要素は、当然満たされるべき前提条件と見なすことができます。言い換えれば、豚肉は倫理的な方法で、消費者の安全と栄養を確保する方法で処理されなければなりません。

このマニュアルは、豚肉の実際のまたは潜在的な食味を定義する豚肉の品質の感覚的および技術的側面に焦点を当てています。福祉が不十分だと豚にストレスがかかるため、倫理的/動物福祉的要素は感覚的および技術的要素とある程度重複していることに注意することが重要です。これは、豚肉の食味に悪影響を与える可能性があります。

感覚的要素は、製品（名前を明らかにしてまたは伏せて）を食べているときに行われる評価で構成され、それにより食味を定義します。科学的には、（訓練を受けた）食味パネリストまたは（訓練されていない）消費者パネリストのいずれかで実施されます。パネリストは通常、柔らかさ、ジューシーさ、風味、異臭を評価します。これらの2つのパネルタイプについては、マニュアルのセクション3で詳しく説明します。

技術的要素は、豚肉の品質を定義または予測するために使用される一般的な測定値で構成されています。

- pH
- 保水性
- 肉色
- 機器で測定した柔らかさ
- マーブリング/筋肉内脂肪 (IMF)
- 脂肪の質

豚肉の品質の感覚的および技術的要素は、次の2つのセクションでさらに説明するために、2つのカテゴリーに分けられます。

2.1 PICブループリント

肉質に関する基礎科学及び応用科学の最新の知見により、望ましい肉質をより一貫して達成するためのシステムを開発することが可能となりました。1996年にPICによって策定された動物福祉と肉質に関するPIC社ブループリントは、豚肉の肉質に関する最初の業界標準の1つでした。

PIC社は、家畜が人道的に取り扱われ、屠畜されることにより肉質改善につなげることを目的にブループリントを設計しました。PICは積極的にモニターし、新しい科学的知識に貢献して、ブループリントを継続的に更新します。

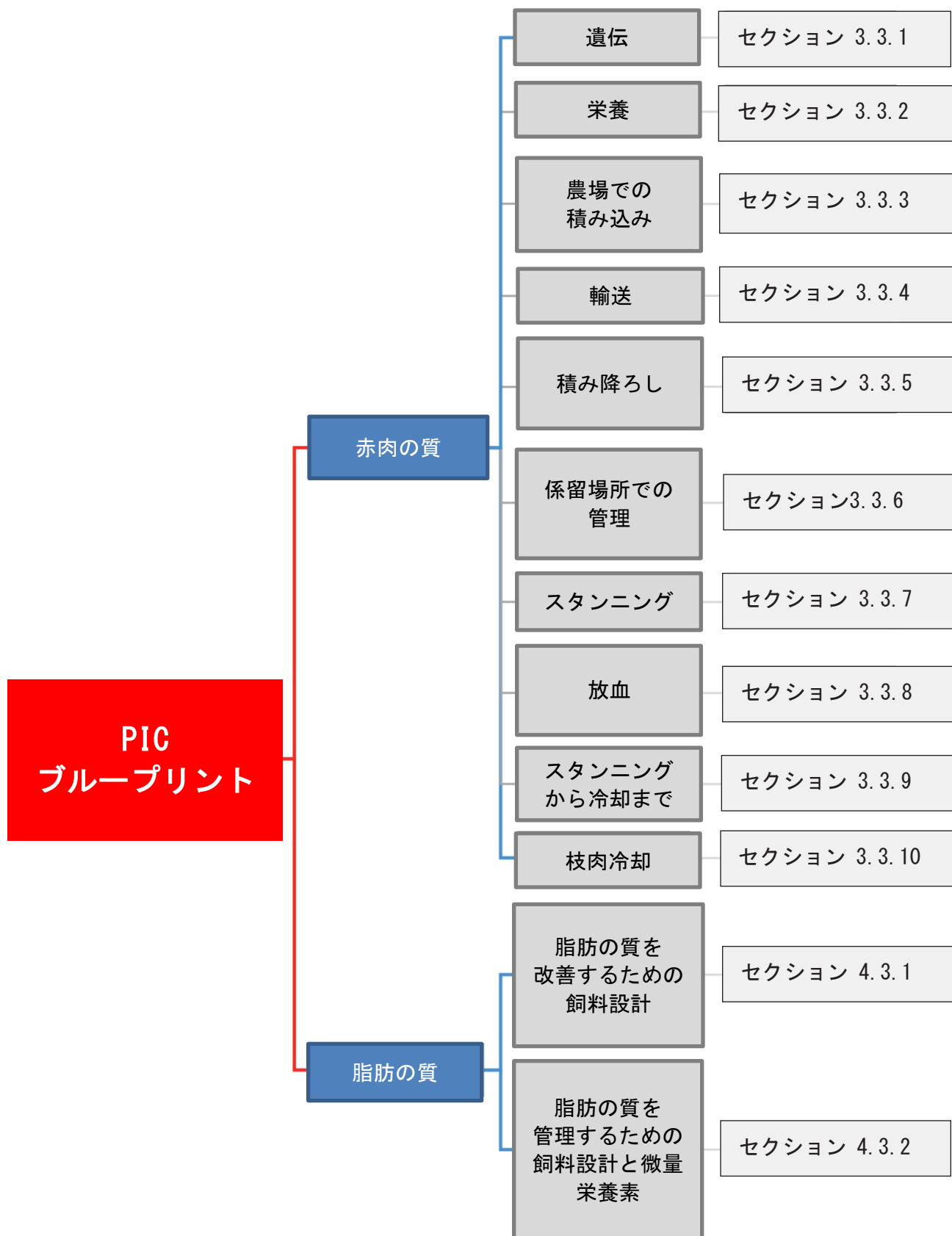
赤肉の肉質（MQ）の管理に関しては、グリコーゲン貯蔵レベル（またはglycolytic potential (GP)ともいう）、ストレスレベル（S）および枝肉温度（T）の低下率という3つの主要な要因に対処する必要があります。肉質を方程式として考えます。

$$MQ = GP + S + T$$

PICブループリントは、良質な肉を開発するための10の重要な領域に対応しています。これらには、遺伝、栄養、農場での積み込み、輸送、屠場での積み降ろし、飼育管理、休息エリアでの管理、放血、気絶から冷やす管理、および枝肉の冷蔵が含まれます。もともとPICポーク肉質ブループリントは、赤肉の肉質と動物福祉のみを扱っていました。2000年代初頭から脂肪の肉質がますます重要になっているため、改訂されたPIC社肉質ブループリントに含まれています。

豚肉の赤肉と脂肪の肉質に関するPIC社肉質ブループリントの概要を図2.1に示します。セクション3と4では、より具体的な生物学的な説明、および赤肉と脂肪の質の測定と管理について説明しますが、この概要では、特定の管理手法を見つけるのに役立つ簡易マニュアルを提供します。

図2.1 PIC 肉質ブループリント



セクション 3

赤肉の品質



3.1 赤肉における肉質の測定

赤肉(筋肉)の品質の定義は、人によって異なる可能性があります。これらの形質には、多くの場合、豚肉の見た目や感触が含まれます。しかし、豚肉の赤肉の品質における最終的な基準は、その食味（柔らかさ、ジューシーさ、風味）です。

次の測定基準は、赤肉の品質を測定または予測するために使用し、以下で説明するいくつかの要因の影響を受ける可能性があります。このセクションでは、これらの指標と、評価のための機器と方法に焦点を当てます。骨格筋から食肉への変換中にこれらの測定基準に影響を与える要因に加えて、これらの生化学的プロセスを管理する方法について説明します。

3.1.1 重要な測定基準

測定基準は2つのカテゴリーに分けられます。1) 赤肉の品質を予測するために使用される間接的な測定および
2) 赤肉の食味を評価する直接的な測定があります。

間接的な測定

- pH
 - 筋肉/食肉の酸性度の測定
 - 屠畜後の筋肉/肉の乳酸形成により、pHが低下します。
 - pHは客観的な測定値です。
- 肉色
 - 赤筋/赤肉の色
 - 肉色はミオグロビンレベルとpHの影響を受けます。
 - 肉色は主観的または客観的に測定できます。
 - 消費者は肉色に基づいて製品を選択する可能性があるため、肉色は直接測定することもできます。
- 保水性
 - 筋肉/食肉の保水性
 - 筋肉/食肉のpHに直接関係します。
 - ドリップロスとパージロスは、一般的な測定方法です
 - 加熱ロスは保水性の影響も受けます
 - 主に客観的な方法で測定されます。
- 締まり
 - 筋肉や筋肉群の締まりの測定
 - 締まりは、部位(プライマルカットまたはサブプライマルカット)のpH、脂肪組成、温度、重量などの多くの要因の影響を受けます。
 - 主に客観的な方法で測定されます。
- マーブリング/IMF
 - 筋肉中の筋肉内脂肪(IMF)レベル
 - pHレベルとは関係ありません。
 - 遺伝、飼料、性別の影響を受ける可能性があります
 - 主観的(マーブリング)または客観的(分析されたIMF/脂質レベル)に測定されます。
 - 消費者はマーブリングの程度に基づいて製品を選択する可能性があるため、マーブリングも直接測定することができます。
- 温度
 - 屠畜後最初の24時間の間に、筋肉が食肉に変換されるにつれて筋肉量が減少します。
 - 屠畜後の代謝とpH低下を制御するためには、温度低下率が重要です。
 - 温度は客観的に測定されます。

直接的な測定

- 剪断力価
 - 豚肉の柔らかさの直接的な測定
 - pH、ジューシーさ、風味との相関
 - 剪断力価は客観的に測定されます。
- 官能評価
 - パネリストは、標準化されたスコアリング法を使用して、コントロールされた特定の条件下で食味テストを行います。
 - パネリストは、トレーニング済みまたは消費者(トレーニングなし)で構成されます。
 - ほとんどの場合、官能評価は主観的な測定です。高度に訓練されたパネリストであると主観性を低減できます。

3.1.2 肉質の測定方法

3.1.2.1 pH測定

食肉のpH測定にはさまざまなメーターを使用できます。世界で一般的に使用されているもののいくつかを図3.1に挙げます。

図 3.1 一般的なpHメーター



MPI pH Meter

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



Frontmatec pH*K21

Frontmatic社による写真提供
(<https://www.frontmatec.com/>)



Hanna HI98163

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



Hanna Halo Bluetooth FC2022

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



図 3.2 食肉用プローブ



ガラス
プローブ

非ガラス製
ISFET プローブ

※ ISFETとは、Ion Sensitive Field Effect Transistor（イオン感応性電界効果トランジスタ）の略。pH電極の応答部に半導体素子を用いていたプローブのこと。

信頼性の高い良好なpH測定値を取得するためのポイントは、pHメーター自体ではなく、メーターで使用されるpHプローブの品質です。食品のpHを測定するために設計されたpHプローブを備えたpHメーターを使用することが重要です。

肉のpHを測定するために使用される最も一般的な2つのプローブタイプは、ガラスチップまたは非ガラスISFETプローブです（図3.2）。これらの先端は、筋肉に挿入しても傷がつかないように槍の形をしています。ISFETプローブは、ガラスの破片が壊れて肉を汚染するリスクを低減するため、食品安全の観点から望ましいものです。ただし、ガラスチッププローブはより正確で信頼性があります。

ISFETプローブの主な問題は、センサーがわずかにプローブの内側に入っているため、肉と適切に接触させることが難しい点です。ISFETプローブは、ガラスに比べて反応時間が遅くなります。欠点はあるものの、先端がガラスのプローブの使用を禁止している屠場では、ISFETプローブを使用する必要があるかもしれません。

注：一部のpHプローブ（スマートプローブ）には、pHと温度を同時に測定する機能があります。

ほとんどのpHメーターは実験室環境で使用するよう設計されているため、屠場/加工場での使用には適していません。一部のモデルは、持ち運び可能で耐水性があるように開発されておりますが、屠場/加工場環境での使用には最適です。3つの基本的な携帯型pHメータースタイルが利用できます。

- ピストル型
 - 食肉のpH測定専用に設計されており、片手での使用が可能です。
 - 通常はより高価で、価格範囲は2,500~5,000米国ドル（2021年時点の価格）です。
- 手持ちコード型
 - プローブはコードの先にあるため、両手を使用する必要があります。
 - 最低価格は約200米国ドルです。プローブの種類に応じて、価格は150~300米国ドルの範囲です。
- Bluetooth型：片手または両手で使用できます（スマートフォンまたはタブレットが必要です）。
 - プローブはpHメーターですが、pHを記録するアプリが搭載されています。これらのプローブの価格は約200米国ドルです。

pHメーターを選択する際のもう1つの検討事項は、pH測定値を収集すると結果が記録、保存され、後でデータをダウンロードできる機能です。これにより、より簡単に正確なデータ収集と柔軟性が得られ、より短い時間でより多くの測定値を取得できます。最低500サンプルを記録する機能は、屠畜加工場のほとんどのアプリケーションとして適しています。

pHメーターを選択するときは、校正機能も考慮してください。少なくとも、pHメーターはpH4.0および7.0の標準液で2点校正できる必要があります。

ガラスチップpHプローブに関する制限がないと仮定すると、pHメーターを選択する際には以下の仕様をお勧めします。

- 先端がガラスプローブのpHメーター
- 手動で温度を調整する機能を備えたpHメーター
- 結果を記録してダウンロードする機能を備えたpHメーター
- pH4.0および7.0の範囲で校正できる機能
- 測定速度が5秒未満

図3.1に示されているすべてのpHメーターは、これらの仕様を満たしています。同様に効果的な他のpHメーターが利用できる場合があります。

pHメーターの校正と保管手順は、一貫して信頼できるpH測定結果を得るための重要なポイントです。pHメーターの校正は、毎日開始時に新しいpH4.0および7.0の標準液を使用して行う必要があります。その日のpH標準液を使用して、校正を再確認します。校正が0.05pH単位を超えてずれている場合は、再度校正を行います。

pHプローブを2日以上使用しなかった場合は、測定の誤った変動を防ぐため、校正前にプローブを古い校正標準液に30分間浸します。

校正後から測定までの間、pHプローブチップはpH校正標準液に保管します。pHプローブを一晩保管する場合、プローブチップは保管溶液（4モル塩化カリウムまたは同様のもの）または標準液（4.0または7.0 pH）のいずれかに入れる必要があります。より長い保管期間の場合、標準液よりも保管溶液を使用することをお勧めします。

日常的に行う校正においては、もとの標準液入れから毎週充填するように各校正標準液用の小さな入れ物を用意しておくのが最適です。

通常、pHはハムまたはロースのいずれかで測定されます。ハムのpHは半膜様筋(内もも)で最も一般的に測定されますが、ロースのpHは最長筋で測定されます。これらの2つの部位は、pHの変動が比較的多い部位であるため、遺伝的要因や環境要因による差が明白に出てきます。ロースとハムのpHは、屠畜加工場でどちらの方法が最も効果的かによって、枝肉または個々のプライマルカットの状態で集められます(図3.3および3.4)。加工処理をしていない枝肉のロースのpHを測定するときは、最長筋以外の筋肉を測定しないように、10番目と最後肋骨の間を測定します。

図 3.3 ロースのpH測定

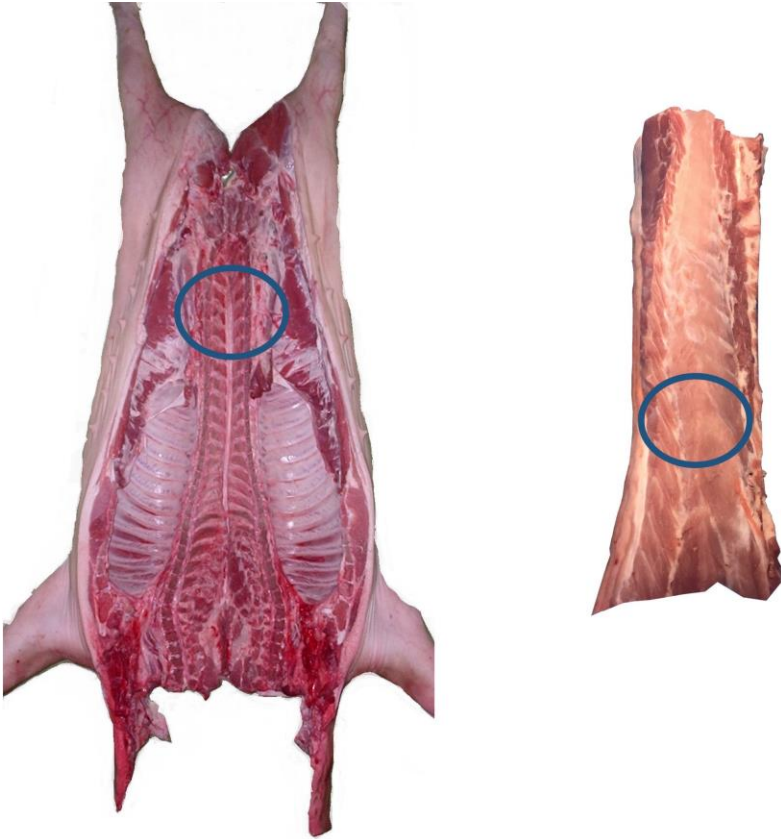
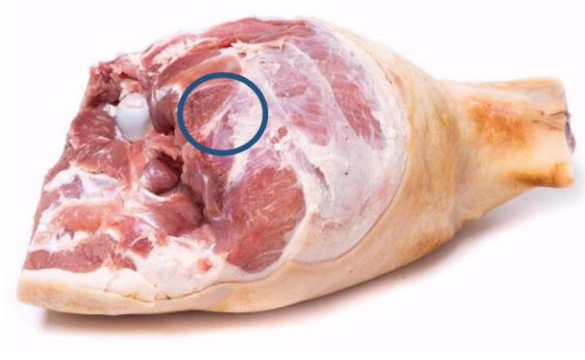


図 3.4 もものpH測定



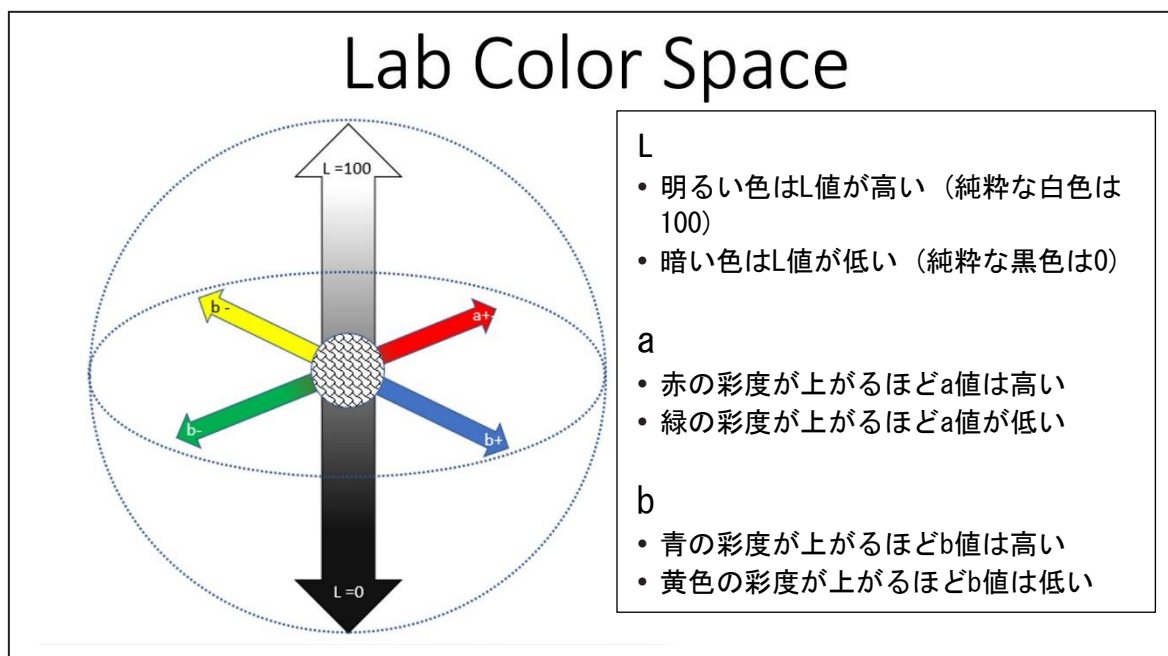
3.1.2.2 肉色の測定

肉色は客観的な方法と主観的な方法で測定できます。豚肉の色の客観的な測定は一般的に比色計で測定されますが、主観的な測定は一連の定義された基準を使用して決定されます。

客観的な測定

機器の色測定には、色空間、光源、観察者の視野角度、測定口径サイズという4つの重要な要素があります。通常、食肉業界では、「CIE L* a* b*」または「Hunter L a b」という2種類の色空間のみが使用されます。これらの色空間は、肉色を「L」、「a」および「b」という3次元によって評価します（図3.5）。

図 3.5 Labカラースペース



L*値は明度/暗さ（白から黒）を表し、豚肉では低い数値（暗い色）が好まれます。 a*値は赤み（赤から緑）を表し、豚肉ではより高い数値（赤）が好まれます。 b*値は黄色度（黄色から青）を表し、豚肉では低い数値（黄色が少ない）が優先されます。 L* a* b*値は、使用される光源と観察者の角度によって異なります。

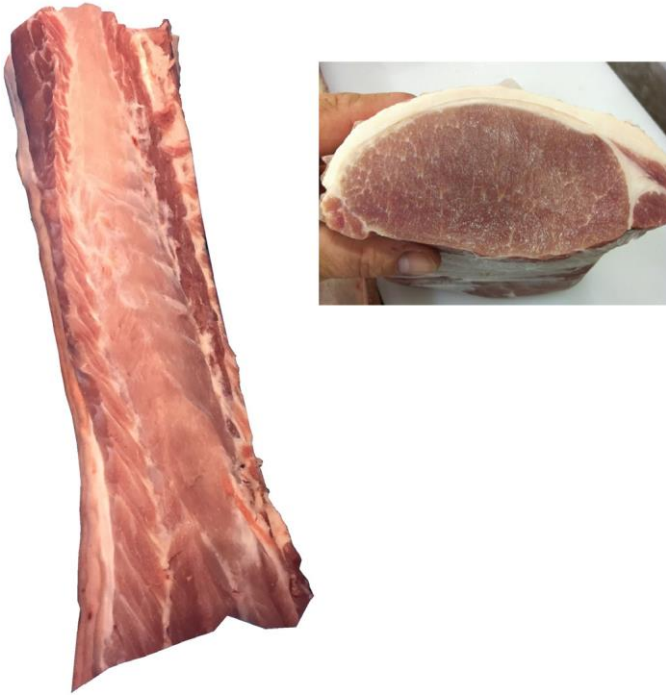
通常、豚肉はCまたはD65光源を使用して測定されますが、場合によってはA光源を使用することもできます。C光源は、紫外線波長領域を除いた平均的な昼光を表します。D65光源は平均的な昼光を表しますが、紫外線波長領域を含みます。光源Aは白熱灯を表します。

観察者の視野角度は、基本的に人間の視野を標準化する肉色測定機器の機能です。2° または10° の視野角度は10° の視野角度が使用され、10° だとより広い視野になります。

測定機の口径サイズは、考慮すべき肉色測定の最後の要素です。測定口径サイズは、測定された円形領域の直径です。8mmと40mmの口径が最も頻繁に使用されます。

機器を使った肉色は枝肉のどの部位でも測定可能ですが、ほとんどはロースやハムを測定します。ロースでは、ロースの筋肉の断面積またはロースの肋骨の表面のいずれかで測定を行うことができます（図3.6）。

図3.6 ロースにおける色の測定箇所



ももの測定は通常、半膜様筋の内側で行われますが（図3.7）、カットされたももの断面の中殿筋で測定される場合もあります。骨から分けられた骨なしももの内側の筋肉がよく測定されます。この部分は一般的に冷却が弱く肉色が悪くなる傾向があるためです（図3.7）。

図3.7 ももの色の測定箇所（半膜様筋と内側）



測定を行うときは、脂肪組織ではなく、赤肉組織で肉色の読み取りが行われていることを確認することが重要です。脂肪組織が色に影響を与えずに測定を回避することは難しいため、マーブリングのレベルが高いと、読み取り値があまり望ましくない結果になる可能性があります。

客観的な肉色測定の場合、最も一般的に使用されるツールには、ミノルタCR-400（またはCR-410）比色計とHunter LabMiniscanがあります。これらの機器の価格は通常5,000～10,000米国ドルです（2021年現在）。豚肉の色の客観的測定のより広範な使用を可能にする多くの新しくより安価なオプションが試験されています。肉色を測定するColorMuseおよびNixデバイスは、数百ドルで購入できますが、色空間、光源、および/または観察者の角度にいくつかの制限があります。また、通常、使用するにはスマートフォンまたはタブレットコンピューターが必要です。これらのデバイスは安価ですが、商用アプリケーションに必要な精度があるかどうかを判断するには、さらに評価する必要があります。

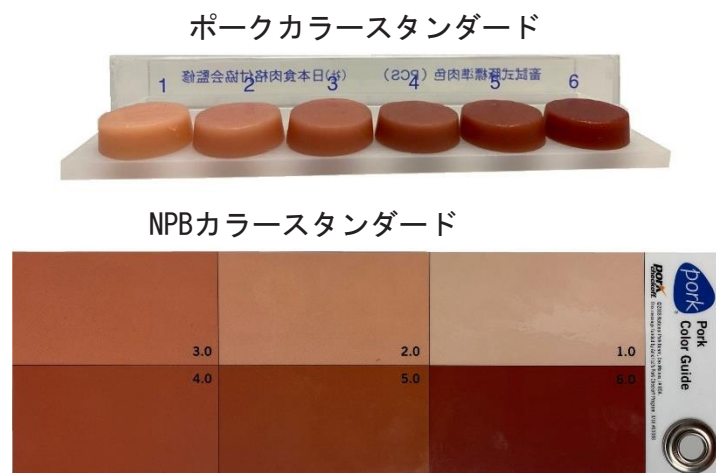
主観的な測定

主観的な肉色の測定は一連の基準に基づいており、肉色を決定するために評価者がサンプルを基準として比較する必要があります。最も一般的に使用されている2つの規格は、日本の規格（ポークカラースタンダード）と全米豚肉委員会規格（NPB、USA）です。

日本のポークカラースタンダードは、主に豚肉を日本に輸出する屠場の商業環境で使用されています（図3.8）。スコアは、1単位刻みで1（淡い色）から6（濃い色）です。色が標準の間にある場合、0.5のスコアが与えられます。日本のポークカラースタンダードは、http://hamukumi.lin.gr.jp/color_standard.htmlから購入できます（注：購入には日本の関係者の協力がないと難しいかもしれません）。

全米豚肉委員会（NPB）は、肉色の基準を含むポークオリティスタンダード（図3.8）を開発しました。これらはオンラインで購入することができます（<http://egashops.directedje.com/PorkStoreProducer/product-details.asp?ID=92&CID=39&P=1>）。NPB基準は、肉のスコアが1（淡い色）から6（濃い色）であるため、日本のポークカラースタンダードと似ています。ただし、スコアの互換性はなく、NPBカラー標準は主に学術分野で使用されています。

図3.8 主観的なカラースコアリングの方法



主観的なカラースコアリング基準は、通常、ロースの色をスコアリングするために使用されますが、赤肉の色を評価するときには他の部位を使用することも可能です。客観的な肉色の測定と同様に、ロースの色の測定は、ロースの筋肉の断面積または肋骨の表面のいずれかをを用いることができます。主観的なカラースコアリングを行う場合、色がどのように認識されるかへの影響を考慮し、明るい場所でスコアリングすることが重要です。また、パネリストを2人にすることで、主観的なカラースコアリングの過程の一貫性を高めることができます。訓練を受けたパネリストは、もう1人のスコアに対して互いに0.5の誤差内でスコアを付ける必要があります。

製品が切断されると、酸素が露出した筋肉組織と相互作用して色が変わる発色 (bloom) が起こります。測定を行う前に一定のインターバル (bloom period) を確保するか、発色が完了するまで時間を置くことが重要です。
※ bloom：食肉が酸素に触れることで肉色が変わること。

多くの研究では、L*値は発色の影響を受けないことが示されていますが、a*およびb*値は、切断後10～18分まで発色の影響を受ける可能性があります。客観的または主観的に色を採点するときは、筋肉内脂肪を考慮に入れることに注意しましょう。目標は、赤肉組織のみにカラスコアを付けることです。

3.1.2.3 保水性測定

保水性は、肉が水分を保持する能力を表しています。商業的な観点から、保水性は通常、重力以外の外力がない場合のドリップロスまたはパージロスの形で測定されます。ドリップロスは通常、小売用にカットされた肉で失われた液体の量を表すために測定されますが、パージロスは真空パッケージされた部位（骨なしロース全体）で失われた液体の量です。

ドリップ/パージロスを測定するための基本的な測定手順では、まずサンプルが計量されたあと、決められた期間及び条件下で保管され、その後に重量ロスを計算するために再計量されます。重量ロスは、最初の重量に対する割合として表されます。（ドリップロス (%) = $\left[\frac{\text{最初の重量} - \text{最終重量}}{\text{最初の重量}} \right] \times 100$ ）

ドリップロスは様々な方法で測定できますが、精度を確保するためにいくつかの基本的なガイドラインに従うことが重要です。まず表面積の大きさは失われる水分量に影響をするため、サンプルの肉片は一定の面積である必要があります。これは、対象の豚肉から25mmの立方体にカットされたサンプルを作るか、コアリング器を使って25mm以上の厚さの豚肉から直径25mmのコアを切り取ることで作成可能です。

豚肉は表面が露出すると水分のロスが始まるため、サンプルを作成するときには豚肉の端側は使用しないことが重要です。そうならないようにするために、豚肉の端から25 mmをカットし、次の25mmの部分からドリップロス測定用サンプルを採取します。

ドリップロス測定用のすべてのサンプルは、外部の脂肪や結合組織から完全に分離されている必要があります。サンプルが外部要素に影響を受けないように密閉します。水分ロスがサンプルから分離できるように、サンプルを浮かせて置きます。これには様々な方法があり、最も一般的な方法には、釣り針を使用した方法やEZドリップチューブ法の2つがあります（図3.9）

図3.9 EZドリップチューブとコアリング器



釣り針を使用した方法では、吊り下げた釣り針などにサンプルを取り付けます。次に、サンプルをビニール袋で包みます。ビニール袋がサンプルに触れないように注意してください。

デンマーク食肉研究所（EZ）のドリップチューブ法 (<https://www.dti.dk/specialists/ez-driploss-equipment/35497>) では、サンプルをチューブの上に置くことで、水分ロスをサンプルから分離します。

サンプルは、決められた冷蔵条件（1～5° C）で所定の時間（通常は24時間または48時間）保管する必要があります。時間と温度の両方が増加するとドリップロスが非線形に増加するため、一定の保管期間と温度を持つことが不可欠です。

最後に、ドリップロスを正確に測定できる秤が必要です。上記のサンプルサイズの場合、サンプルの重量は通常10～20gです。したがって、ミリグラム単位で測定できる秤が最適です。

パージロスは、真空パックされたカット肉を使って測定されますが、一般的に骨なしロースが使われます。パージロスは、ロースが屠畜加工場で包装されたときから、カットするために梱包が開かれるときか、消費者が梱包を開けるときの水分ロスの量を表します。これはより長い期間の変化を見るものであり、通常パージロスは、少なくとも7日間経ってから測定されます。アジアに輸出される製品の鮮度のシミュレーションでは、最大28日間の測定をします。ドリップロスと同様に、サンプルは、通常のコマーシャルレベルでの製品処理過程における冷蔵条件で保管される必要があります。

パージロスを測定するために、梱包の前にロースの重量を量ります（または、すでに重量がわかっている場合は袋の重量を差し引きます）。保管期間が経過したら、ロースを袋から取り出します。ペーパータオルで肉を軽く拭き取り、余分な表面の水分を取り除き、肉を再度計量します。一般的なロースの重量の場合、正確な測定値を取得するには、総重量容量が10 kgの秤（グラム単位で測定できるもの）が必要です。

3.1.2.4 締まりの測定

NPBは、豚肉の締まりを評価するための基準を定めています。このスコアリングシステムは、通常、豚肉の表面を評価し、次の3ポイントスコアリングシステムを使用します。

- 1 = 柔らかい；切断面は柔らかく、表面はゆがんでおり、形を保っていません。
- 2 = 締まっている；切断面は歪みが少なく、形状を維持しています。
- 3 = とても締まっている；切断面は非常に滑らかで、歪みはありません。

このシステムは、研究や品質保証の目的で豚肉の締まりを評価する場合によく使われます。ただし、多くの場合、コマーシャル環境ではこのスコアリングシステムを使用して締まりを評価することは難しいです。

そのため、商業環境では、骨なしロース全体の評価を行う5段階スコアリングシステムにおいてNPB法を修正して活用しています。このスコアリング方法はNPB法と非常に似ていますが、ロース全体法では、3段階システムではなく5段階スコアリングシステムが使用されています。

図 3.10 締まりの測定



ロースのサーロインエンドはNPBシステムに基づいて評価されますが、全体的な締まりのスコアを決定するために、ロース全体がその形状をどの程度保持するかやロースが折りたたまれやすいかどうか重点が置かれます（図3.10）。

5段階スコアリングシステムの内容

- 1 = とても緩い;ほとんど力を入れずにロースを折り畳むことができ、形状を維持できません。
- 2 = 緩い;簡単に折り畳むことができ、だらりとした状態で形状を保ちます。
- 3 = 締まっている;わずかに弾性があるも折り畳むことができ、形状を保ちます。
- 4 = 適度に締まっている;適度な弾性のため、完全に折り返すことができません。感触も硬く形状もしっかり維持されます。
- 5 = とても締まっている;弾性が強く、完全に折り返すことができません。「硬い(タイトな)」感触で非常によく形状を維持します。

3.1.2.5 マーブリング/IMFの測定

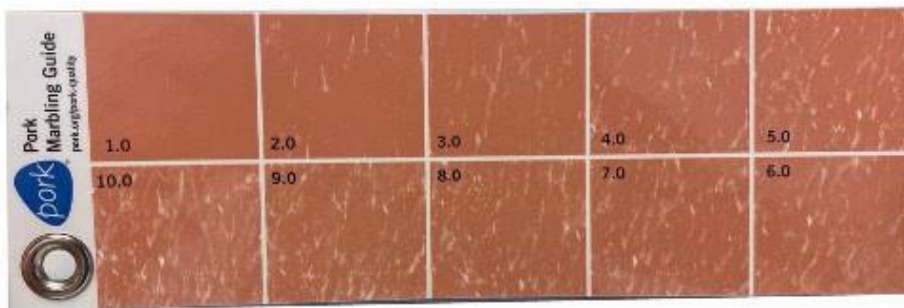
マーブリングと筋肉内脂肪（IMF）という用語は、同じ意味で使用されることがよくあります。この文書の目的上、マーブリングは一連の基準を使用して主観的に測定され、IMFは化学的または機械的手段を使用して客観的に測定されるものとして区別します。IMFの測定は、最終製品を損耗し、また化学分析には追加のコストがかかるため、より費用がかかる方法です。また、サンプルを収集し、正しく準備して分析する必要があるため、IMF測定には時間がかかります。

全米豚肉委員会（NPB）は、マーブリングスタンダードを策定しました（図3.11）。

(<https://egashops.directedje.com/PorkStoreProducer/product-details.asp?ID=92&CID=39&P=1>)

この基準は1(ほとんどマーブリングがない)～10(マーブリングが非常に多い)の範囲です。各スコアはIMFの割合とほぼ同等です(すなわち、マーブリングスコア3は、IMF3%に等しい)。

図3.11 全米豚肉委員会マーブリングスタンダード



通常、マーブリングはロースで測定されますが、世界の一部の地域ではモモで測定されます。マーブリングスコアの評価にはロースの表面を用いるのが理想的です。しかし、ほとんどのコマーシャルレベルの環境下では、ロースが中央でカットされない限り、その表面が露出しないため、マーブリングスコアはロースのリブ（腹側）表面で測定されます。主観的なカラスコアリングには適切な照明が必要ですが、マーブリングの場合は脂肪と赤肉の色のコントラストを高めるために、マーブリングスコアをつける領域に影を付ける必要がある場合があります。

従来、筋肉内脂肪はコマーシャルレベルおよび大学の研究室で湿式化学法を用いて測定されていました。近年、IMFの測定には近赤外線（NIR）技術が一般的になっています。ひき肉を使用するNIR法は、加工していない肉製品とは対照的に、通常精度は高くなりますが時間がかかります。

これらの方法は、実際のIMF含有量ではなく、肉製品に含まれる脂肪の割合を判定するものであることに注意してください。実際のIMFには、脂肪だけでなく、タンパク質や水も含まれています。そのため、脂肪の割合が分かっても、タンパク質と水の量を考慮しないと、湿式化学法やNIR法によるIMF分析の結果は、一般的に主観的なマーブリングスコアよりも低くなります。

必要な検体数は、湿式化学法とNIR法のどちらを使うかにより異なり、通常、分析を行うラボによって決められます。サンプルを採取する際は、筋間脂肪や皮下脂肪があるとIMF割合を人為的に吊り上げることになるため、サンプルから取り除くことが重要です。

3.1.2.6 温度測定

温度測定は、枝肉のどの部分でも行うことができる最も簡単な枝肉評価の1つです。温度低下率は肉質に直接影響を与えるため、温度低下が不十分な場合に影響を受ける恐れがある部位の温度を測定することが重要です。その測定場所には、かた、もも、ロースの各部位の深部が挙げられます。

一般的な食肉用温度計を使用して屠畜後の標準的な時点での温度を測定します。温度測定は、温度データロガーを使用して、冷却プロセス全体を通して一定の間隔で行うこともできます。

特定の時点の測定を行う場合は、少なくとも100 mmの長さで0.1° C単位の測定が可能なプローブを備えた食肉用温度計が標準的で適しています。温度低下曲線を測定する場合は5分間隔で温度を測定し、データロガーは冷却プロセスの環境下に耐えられるように防水性が必要です。食肉用温度計とデータロガーはいずれも、長さが100 mm以上で、0.1° C単位で測定が可能なプローブを使用する必要があります。

温度低下曲線を複数の主要な場所や、さらに冷却中の周囲温度を測定できるように、複数のデータポートがあるデータロガーを使用することが理想です。ONSET社は、最大4つのセンサーを搭載できるHobo 4チャンネルアナログデータロガーMX1105を製造しています (<https://www.onsetcomp.com/products/data-loggers/mx1105>)。センサーには、周囲温度センサー (SD-TEMP-01) とプローブ温度センサー (SD-TEMP-SS-06) が付いていて、温度低下曲線の測定に適しています。データロガーユニットは、温度低下曲線のデータ収集時に水から保護するため、防水バッグに入れて使用することができます。

3.1.2.7 柔らかさと食味の測定

豚肉の食味を客観的に評価するためのゴールドスタンダードは、器材を使用した柔らかさの測定と官能評価による直接的な評価です。客観的な柔らかさは、Warner-Bratzlerや剪断力価を用いて測定され、官能評価では訓練を受けたパネリストまたはそうでないパネリストのグループにより豚肉の食味を評価します。

米国食肉科学協会 (AMSM) は食味試験及び客観的な柔らかさの測定を行う方法のガイドラインをまとめました (<https://meatscience.org/docs/default-source/publications-resources/amsa-sensoryand-tenderness-evaluation-guidelines/research-guide/2015-amsa-sensory-guidelines-1-0.pdf?sfvrsn=6>)。このAMSAのガイドラインでは、これらの方法についての詳しい情報のほか、感覚パネリストや柔らかさ分析の種類に関わらず当てはまる基本的なガイドラインも含まれています。

サンプルの選択方法は重要です。ロース(背最長筋)は、多くの豚肉の食味や柔らかさ分析に使用されますが、モモの半膜様筋も同様によく使用されます。使用する筋肉に関係なく、一貫性を保つことが重要です。筋肉の同じ部分からサンプルを採取するようにしましょう。

サンプルを採取したら、分析前に通常の冷蔵条件下で5~14日間(豚肉の熟成期間)保管します。豚肉を冷凍すると剪断力価が低くなるため(肉はより柔らかくなる)、製品は生肉の状態で、調理前に冷凍しない方が望ましいです。冷凍豚肉の剪断力価は、生肉の値と比較できません。

豚肉を基準の厚さにカットします。一般に、調理前に2~5°Cで冷やされた1インチ(2.54 cm)の豚肉を使用します。最終的な加熱温度の程度は柔らかさや食味に影響を与える可能性があるため、注意深く確認して、加熱し過ぎたり火の通りが不十分だったりしないようにしてください。通常、熱電対(温度センサー)を豚肉の中心に挿入し、データロガーでモニターを行います。

加熱方法はさまざまですが、豚肉の両面を均一に加熱でき、安価であるため、クラムシェルグリルがよく使用されます。他の方法には、オープンハースグリル、ベルトクッカー(例: ピザ用オーブン)、および真空調理法が含まれます。加熱後について、柔らかさの分析と官能評価はそれぞれプロセスが異なるため、分けて説明します。

Warner-Bratzler剪断力は、世界中で使用されている最も一般的なタイプの客観的な柔らかさの分析方法です。Warner-Bratzlerブレードアタッチメント(図3.12)を購入して、インストロンまたは同様のタイプの試験装置で使用します。剪断機(図3.12)とブレードの取り付け、およびスライス剪断、コアリング、その他の食味検査装置は、Tall Grass Solutions, Inc. (<https://www.tallgrassproducts.com/home>)から購入できます。

剪断力試験で測るのは、ワーナーブラッツラー(Warner-Bratzler)ブレードが筋繊維の方向に対して垂直に1.25 cmのコア(肉片)を切断するのに必要な力の大きさ(kgまたはN)です。加熱後、サンプルの豚肉から一貫性のあるコアリングができるよう、調理後一晩サンプル豚肉を冷蔵します。コアリングする前に豚肉を室温に戻してください。

コアは筋繊維が平行になるように採取する必要があるため、コアリングの前に、筋繊維の方向を正すために豚肉の端を切り取ります。コアリング機器を使って豚肉から1.25cmのコアを採取します。剪断力試験のために、少なくとも4つのコアをひとつの豚肉から作ります。

コアを採取できたら、 225 ± 25 mm/分の速度でワーナーブラッツラーブレードによって剪断します。コアの中心で垂直に剪断するように注意してください。最終的な剪断力価は、各コアサンプルから得た値を平均します。

図 3.12 Warner-Bratzlerブレード



前述の通り官能評価は、訓練を受けたパネリストまたは訓練されていない消費者により行われます。訓練を受けたパネリストは、様々な特性の違いを一貫して検出することが求められます。訓練されたパネリストは違いを検出できますが、一般の消費者はこれらの違いに気付かないかもしれません。しかし、消費者パネリストによる試験は、訓練されたパネリストの評価が一般の消費者の評価とどれだけ差があるかを知るのに役立ちます。

一般的に、食味形質にはジューシーさ、柔らかさ、風味、オフフレーバー(異臭)が含まれます。スコアリングには通常、線尺度(ラインスケール)があり、数値が小さいほど望ましくなく、数値が大きいほど望ましいことを表しています。一部の消費者パネリストにおいては、好みに基づく快不快尺度(ヘドニックスケール)によりスコアリングが左右される場合があります。

加熱調理後、パネリスト用に豚肉からサンプルを切り取ります。サンプルとして、豚肉は1.25cm x 1.25cm x 2.5cm(豚肉の厚さ)の部分にカットする必要があります。肉がパネリストのもとに運ばれるまで、サンプルを温かい状態に保ちます。

各パネリストは通常、サンプルの焼き加減や見た目の色によるバイアスの発生を避けるために、赤色光条件下でサンプルをスコアリングします。各サンプルの間に、パネリストは水と無塩クラッカーで口腔内を洗浄する必要があります。パネリストのスコアを平均して、各チョップの全体的なスコアを計算します。

どの試験においても、標準化された条件下で官能評価を実施し、サンプル群やベンチマーキング内のロット間で直接比較が可能であることが重要です。

日本での食味試験方法のマニュアル

<http://www.nlbc.go.jp/gijutumanyuaru/manual21/index.html>

(独立行政法人 家畜改良センター)

3.2 赤肉に影響を及ぼす要因

3.2.1 筋肉から食肉への転換

各骨格筋(図3.13)は、数百、さらには数千の筋細胞または繊維が束ねられ、結合組織の覆いで包まれて構成されています。筋肉は、それぞれ筋外膜(筋上膜)と呼ばれる結合組織鞘に囲まれています。筋膜(筋外膜の外側の結合組織)は、筋肉を囲むことで筋肉どうしを分けています。

図3.13 筋肉構造



顕微鏡で見ると、各筋細胞には異なる領域があります。これらは、アクチンとミオシン、およびいくつかの関連する「ヘルパー」タンパク質から形成されるサルコメア(筋節)として知られています。ミオシンは、個々のミオシンユニットが多く組み合わさったロッド(テールまたは尾部)から構成されるタンパク質です。ミオシンユニットのヘッド(頭部)はロッドの上にくっつき、アクチンフィラメントに引き付けられ、筋肉の収縮と弛緩のサイクルを可能にするクロスブリッジを形成します。

骨格筋は、複雑な生理学的状態を特徴とする入り組んだ組織です。神経系、循環器系、呼吸器系、内分泌系はすべて、酸素とエネルギーを供給し、pHと温度を調節し、筋肉の恒常性を維持するために重要です。

豚が屠畜されると、これらのシステムは恒常性を維持する機能を失い、生きている筋肉は徐々に肉に変換されます。屠畜後、代謝は、エネルギー基質と代謝物のいずれかが枯渇するか、温度依存性反応が機能しなくなるまで、限られた時間継続します。

3.2.1.1 エネルギー代謝

筋肉は、仕事（収縮活動）とカルシウムイオン（ Ca^{2+} ）恒常性のためにアデノシン三リン酸（ATP）と呼ばれるエネルギー源を使用します。

ATPは、解糖を介して好気性（酸素あり）または嫌気性（酸素なし）条件下でグルコース（またはグルコース前駆体）から形成されます。ATPは、嫌気性条件下（グルコース分子あたり2ATP）よりも好気性条件（グルコース分子あたり38ATP）でより効率的に合成されます。

嫌気性代謝は、ストレスホルモン（主にアドレナリンとコルチゾール）が分泌されるときに起こります。「戦うか逃げるか反応」（fight-or-flight response）を引き起こすストレス要因は、これらのホルモンの放出を促進する可能性があり、それにより、恒常性を維持して生き残るためのエネルギーが急増します。

嫌気性代謝により、2ATPと2ピルビン酸が産生されます。豚が生きていると、ピルビン酸は乳酸に変換され、それは筋肉から肝臓に移動してブドウ糖に戻ります。このブドウ糖は、「戦うか逃げるか反応」がおさまるにつれて、エネルギー産生（コリ回路または乳酸サイクル）のために筋肉に戻る可能性があります。

屠畜時/放血（出血）の際、筋細胞への血液供給が失われ、その結果、酸素、栄養素の供給、および体温を調節する能力が失われます。酸素が失われると、嫌気性代謝に移行します。

嫌気性代謝によるピルビン酸の増加は、筋肉の乳酸の増加をもたらし、筋肉のpHを低下させます。pHの低下の速度と程度は、ストレスによる屠畜後の筋肉の乳酸の蓄積量、屠畜後に解糖（グリコーゲン）により筋細胞に蓄積されるエネルギーの量、および屠畜後の温度の影響を受けます。

3.2.1.2 死後硬直と関連する状況

死後硬直は、エネルギー代謝が停止したときに発生する筋肉から肉への変換の重要な物理的特性です。死後硬直は、骨格筋収縮装置の2つの重要な構造要素（アクチンとミオシン）が結合したときに筋肉が伸展性を失う状態です（アクトミオシンクロスブリッジ）。

転換において、厳密には3段階あり、遅延、開始、および完了に分けられます。遅延期の間、ATPレベルは比較的一定であり、筋肉は柔らかく、弾力性があり、伸縮性があります。筋収縮に必要なアデノシン二リン酸（ADP）を無酸素状態でATPに変換するためにクレアチンリン酸（CP）は必要であるため、このプロセスにおいて重要です。酸素がなくてもATPレベルを維持するためにCPを利用できる場合、筋肉は遅延期にとどまります。

CPレベルが枯渇した直後に、ATPレベルが低下し始め、死後硬直が開始段階に移行します。開始段階では、筋肉は弾力性がなくなり、伸縮できなくなります。ATPレベルが低下し、 Ca^{2+} が放出され、アクチンとミオシンがアクトミオシンクロスブリッジを形成できるようになります。これは、ATPがクロスブリッジを切断するために必要なため、アクトミオシンのクロスブリッジが永続的になる1 $\mu\text{m/g}$ 未満の筋肉中のATPが枯渇するまで続きます。

この時点で、筋肉は死後硬直の最終段階にあります。死後硬直中に形成されるアクトミオシンブリッジは、通常の筋収縮および弛緩サイクル中と同様です。ただ、通常の筋収縮では、可能な結合部位の約20%しか使用されませんが、死後硬直の段階では事実上すべての結合部位が使用されます。

豚の死後硬直は通常、死後15分から3時間の間に始まり、死後10時間までにほとんどの筋肉で起こります。死後硬直過程には、ある程度の筋肉の収縮（硬直によるショートニング）が伴うため、肉の柔らかさに直接影響します。

死後硬直と関連する以下の状況が発生する可能性があります

コールドショートニング:

死後硬直が終了する前に筋肉が7°C未満に冷却され、筋肉のpHが6.30を超えると、コールドショートニングが発生する可能性があります。死後硬直が終わっていないため、通常では収縮と弛緩のために筋原線維へのCa²⁺の作用を制限するATPが利用可能のままとなります。しかし、これらの寒冷条件下では、過剰なCa²⁺と残留ATPにより、Ca²⁺は制限されなくなり、筋肉の収縮を引き起こします。この過程では、ATPが消費されて枯渇し、筋肉が収縮するため、アクトミオシンのクロスブリッジが恒久的に形成されます。

一般的に、豚肉では屠畜後急速にpHが低下するためコールドショートニングが問題となることはありません。通常、筋肉の温度が下がる前に、pHが6.00未満となって死後硬直は終わります。骨の温度が熱い状態で筋肉だけが冷やされると例外的に起こる可能性があります。

牛肉や羊肉では、電気刺激を利用して筋肉のpHを急速に下げ、筋肉の柔らかさを改善します。ただし、豚肉では乳酸の生成が増えると、pHの低下が速くなり肉質が低下するため、電気刺激は使用しないでください。

解凍硬直

解凍硬直は、死後硬直前の肉をカットし、冷凍した場合に生じます。硬直していない筋肉が解凍されると、残留ATPとCa²⁺が筋肉の収縮を引き起こし、筋肉を最大60%収縮させます（牛肉や子羊肉の場合）。この収縮により、水分が大幅に失われ、筋肉が異常に硬くなります。

コールドショートニングと同様に、豚肉では通常、筋肉が枝肉から切り離されて凍結される前に筋肉の硬直が完了するため、解凍硬直が発生することは稀です。豚肉で発生した場合でも、骨格構造が筋肉を引き止めるため、収縮の程度は60%よりはるかに少なくなります。

3.2.1.3 筋線維のタイプ

筋肉は、I型（赤筋/酸化）、II型（混合、酸化-解糖IIaとIIx）およびタイプIIb（白筋/解糖）の筋線維で構成されています。これらの筋線維タイプの主な特性を表3.1に示します。

表 3.1 筋線維のタイプごとの特徴

特徴	I型	IIb型	IIa型
色	赤色	白色	中庸
代謝	好気性	嫌気性	両方
脂肪酸レベル	高	低	中庸
グリコーゲン含有量	低	高	中庸
収縮速度	遅い	速い	速い
ミオグロビン濃度	高	低	中庸

*出典: Lonergan et al., 2019

筋肉は通常、3種類の繊維すべてで構成されていますが、これらの繊維の比率は、動物の種類、遺伝、または個体の筋肉によって異なります。豚では、運動や横隔膜などの継続的な動きに使用される筋肉は、I型筋繊維の割合が高くなる傾向があります。これらの筋肉は濃い赤色をしています。例としては、肩の背筋、ももの大腿四頭筋などがあります。ロースの筋肉とももの一部の筋肉は、タイプIIの繊維の割合が高くなります。

IIb型繊維の割合が高い筋肉は、肉質が低下するリスクが高くなります。これは、嫌気性代謝が増加し、乳酸レベルが高くなる可能性があるためです。筋肉の内部温度が30° Cを超えるとpHが低下し、色が薄くなり、保水性が低下します。

3.2.2 肉質改善

3.2.2.1 保水性

保水性とは、肉が水分を保持する能力です。これは、精肉と加工豚肉の両方の品質にとって重要です。一般に、保水性の低い生鮮食品は、食味が劣ります。保水性の低い加工食品は、製品の保存性を維持するために重要な水を吸収できないため、その価値が低くなります。

肉の保水能力を決定する3つの主な効果は、1) 正味電荷効果、2) 立体効果、および3) タンパク質分解効果です。正味電荷効果は、筋肉のpHに直接関係しています。pHが等電点(電荷0の状態、約pH5.2)に近づくと保水性が低下し、等電点で保水性が最も低くなります。正味電荷効果は、筋細胞内の水分の約5%にすぎません。

立体効果には、筋原線維内に水分を保持する毛細管力が影響します。これには、筋原線維内の細いフィラメントと太いフィラメントの間隔(サルコメアの長さ;図3.13)が重要となります。間隔が広いほど、保水能力が高いことを示します。フィラメントの間隔に影響を与える要因には、pH、イオン強度および筋肉の硬直状態が含まれます。pHとイオン強度が増加すると、フィラメント間の間隔が増加します。

タンパク質分解効果は、筋肉から肉への変換中に発生するタンパク質変性に関係しています。より高いレベルのタンパク質変性は、不十分な保水性を引き起こします。このタンパク質変性は、pHレベルとその低下率に関係しています。pH低下の速度が遅くなったり速くなったりすると、タンパク質変性の程度が大きくなり、保水性が低下します。タンパク質変性は筋肉の温度の影響も受け、筋肉の温度が下がると変性が少なくなります。

3.2.2.2 肉色

生肉の色は、主にミオグロビン含有量によりコントロールされます。シトクロム(筋肉内の酸素貯蔵に参与する)や死後硬直の発達など、他の2つの要因も色に影響を与えます。

酸化(好気性)代謝が発生する場所でミオグロビン濃度が高くなります。I型筋線維は本質的に酸化しやすいため、ミオグロビン濃度が高く、色が赤くなります。

肉色は、筋繊維の種類が異なることで部分的に変化します。この差異は、異なる機能を持つさまざまな筋肉間で見られます。また、動物種が異なれば、筋肉の使い方も異なる可能性があります。同じ動物種の品種/系統内でも違いが生じる可能性があります。

年を取った個体は若い個体よりもミオグロビンのレベルが高くなります。ただし、肉色はミオグロビン濃度を完全に示しているわけではありません。保水性について前述したように、タンパク質変性は高温にさらされた、またはpHが低下した筋肉で起こります。この変性はミオグロビン(金属タンパク質)にも影響を及ぼし、変性によりミオグロビンの溶解度が変化します。ミオグロビンの溶解度が変化すると、肉色のミオグロビンによる赤色は失われます。

筋肉タンパク質の変性は、光の反射方法に影響を与えることによって色が変わります。pHが高いままの場合（pHの低下が遅い）、変性はほとんど起こらず、より暗い色のスペクトルが反射されます。ただし、pHが低い（急速なpH低下）条件下では、より多くのタンパク質変性が生じ、より明るい色のスペクトルの反射により、肉色がより明るく見えます。

さらに、ミオグロビンに関連するヘム鉄（Fe）の酸化状態は、色に影響を与える可能性があります。ヘムFeが第一鉄状態（Fe²⁺）の場合、ミオグロビンはオキシミオグロビン（酸素あり）またはデオキシミオグロビン（酸素なし）のいずれかの形態になります。オキシミオグロビンは明るい赤色で、デオキシミオグロビンは濃い赤紫色です。これらの2つの形態は、筋肉が切断されたときに起こる発色に影響を与えます。

カットの前は、ミオグロビンは主にデオキシミオグロビンの形をしています。筋肉が切断されると、デオキシミオグロビンはオキシミオグロビンに変換され、酸素の存在により色が明るい赤に変わります。最終的に、Fe²⁺は酸化して鉄の第二鉄状態（Fe³⁺）になり、メトミオグロビンと暗い茶色がかった茶色になります。

メトミオグロビンの形成は、消費者が小売肉のケースで製品をどのように見るかに影響を与えるため、実質的な価値に影響を及ぼします。これらの灰色や茶色が発生すると、消費者は、「古い」または「期限切れ」と認識されるため、製品があまり好ましくないと感じます。

3.2.2.3 柔らかさ

柔らかさは、美味しさ全体に関連する重要な特性です。肉の物性と調理温度は柔らかさに影響を及ぼします。

肉の物性には、サルコメアの長さ、筋原線維の断片化、結合組織の量、マーブリングなどがあります。pHなどの化学的性質も、サルコメアの長さや筋原線維の断片化に影響を与えることによって重要な役割を果たします。

サルコメアの長さは、硬直収縮の程度にも影響を受けます。コールドショートニングでは、サルコメアの長さが非常に短くなるため、柔らかさに甚大な悪影響を及ぼします。通常の状態でも、ある程度の硬直収縮が発生し（コールドショートニングではない）、これはサルコメアの長さや肉の柔らかさに影響を及ぼします。

筋原線維の断片化は、硬直後筋肉においてタンパク質の部位特異的な構造的損傷を引き起こすことで柔らかさを改善することが可能になるため重要です。筋原線維の断片化がわずかにでも継続的に増加すると、肉の柔らかさが徐々に改善されます。主にカルパインプロテアーゼ（タンパク質を分解する酵素）が、筋原線維の断片化に関与しています。カルパイン活性は、Ca²⁺の有無による影響を受けます。カルパスタチンはこの活性を阻害します。

pH、温度、酸化など、様々な環境要因がカルパインの活性に影響を与えます。最適なカルパイン活性はpH7.0で見られ、pHが低下すると活性も低下します。多岐にわたる食肉の化学的研究によると、pHの急速な低下がカルパインの活性化を完全に停止させ、筋原線維タンパク質の分解に失敗する可能性があることを示しています。肉の温度が下がるとカルパインの活性も低下しますが、冷蔵された肉（4℃）でもカルパインの活性はある程度発生します。

筋原線維タンパク質の分解が起こる時期は熟成期間です。豚肉の望ましい熟成期間は5～14日で、柔らかさは多くの場合7～10日の熟成の間に改善されます。

結合組織（主にコラーゲン）のレベルが筋肉で増加するにつれて、柔らかさは失われます。コラーゲンのレベルは、筋肉の種類やその生理学的な目的によって変化します。運動のために設計された筋肉は、コラーゲンレベルが高く、柔らかくありません。動物が老いていくにつれて、コラーゲン架橋数は増加し、その結果、柔らかさが低下します。

マーブリング（筋肉内脂肪； IMF）と豚肉の柔らかさに関する文献には一貫性がなく、マーブリングは豚肉の柔らかさにある程度の影響を与えると結論付けられています。マーブリングによる柔らかさの改善は、筋肉のpHレベルおよび屠畜後のpH低下率に比べると、柔らかさに及ぼす影響はかなり小さいようです。

加熱調理方法は豚肉の柔らかさに大きな影響を与えます。出来具合の程度、または内部調理温度は、感覚パネリストの柔らかさのスコアに影響を与え、内部温度が高いほど、豚肉の柔らかさが少なくなります。米国農務省（USDA）は、柔らかさを最適化しながら微生物学的安全性を確保するために、豚肉の内部温度63℃に保って3分間調理することを推奨しています。内部温度も重要ですが、カットの方法、調理の速度、調理方法（グリル、焼く、真空調理法）はすべて、豚肉の最終的な柔らかさに影響を与えます。

豚肉の調理時間に関するUSDAの推奨：<https://www.fsis.usda.gov/food-safety/safe-food-handling-and-preparation/food-safety-basics/safe-temperature-chart>

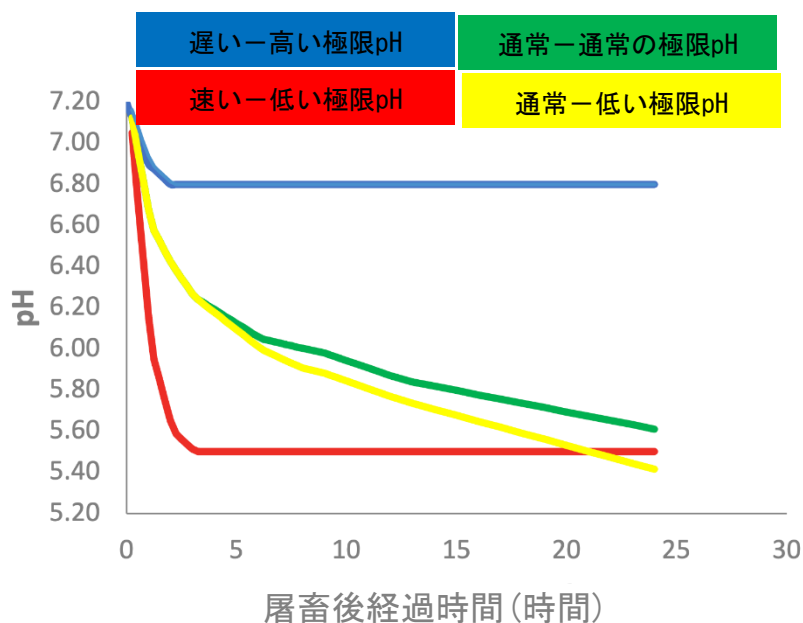
3.2.3 pH低下と肉質に影響を与える要因

屠畜後24～48時間のpH値（pHu）と屠畜後のpH低下率（ Δ pH）の両方が、保水性、肉色、豚肉の柔らかさの点で肉質改善に重要な役割を果たします。4つの典型的なpH低下率（図3.14）が一般的に認識されており、次のものが含まれます。

1. 急速なpHの低下かつ低い極限pH（pHu= 5.40-5.60）により、PSE（淡い、柔らかい、水っぽい）となる
2. 通常のpH低下かつ低い極限pH（pHu= 5.30-5.50）により、RSE（赤い、柔らかい、水っぽい）またはPSEになる
3. 通常のpH低下かつ通常の極限pH（pHu= 5.60-5.80）により、RFN（赤い、締まっている、水っぽくない）またはRSEになる。
4. 遅いpH低下と高い極限pH（pHu= 6.50-6.80）により、DFD（色が濃い、締まっている、断面が乾燥）になる

低下の速度と程度を決定する主な要因には、遺伝、筋肉中のグリコーゲン貯蔵量、屠畜前のストレスレベル、および枝肉の冷却速度が含まれます。スタンニングや放血等の他の要因も同様に肉質に影響を及ぼします。

図 3.14 屠畜後のpH低下



3.2.3.1 遺伝がpHに与える影響

遺伝子選抜プログラムは、よりpHが高くなる遺伝的な能力を向上させることができます。極限pHの遺伝的選抜により筋線維タイプの構成やストレス感受性が変化する可能性があります。これまでも品種によるpHへの影響が確認されてきましたが、従来から考えられてきた品種による差異は、最新の選抜プログラムにおいては、それほど明白に表れるものではない場合があります。屠畜後の筋肉のpH、特に肉の最終的なpHの改善は、肉質に影響を与える最も重要な要素です。そこで、既知の主要な遺伝子の影響に重点を置いて、筋肉のpHに関する遺伝学について簡単にご説明します。

分子遺伝学技術を豚の遺伝改良へ応用したのは、1991年に豚ストレス症候群（PSS）の原因となる突然変異の発見から始まりました。これは、DNA試験の開発とその後の商業的利用につながりました（HAL1843™; The Innovations Foundationの登録商標, Toronto, Canada; Fuji et al., 1991）。ハロセンまたはストレス遺伝子は、肉質に影響を与える最も研究されている主要な遺伝子です。原因となる突然変異が発見される前は、ハロセンテストにより、育種会社は突然変異を持たない個体（正常なホモ接合、またはNN）と2つの突然変異コピーを持つ個体（ホモ接合リアクター、またはnn）のみを識別していました。劣性状態のカルシウム放出チャネルリアノジン受容体遺伝子（RyR1）の一塩基の突然変異は、PSS（悪性高熱症候群、MHS）の原因です。また、この遺伝子は筋肉質と赤肉の程度の決定に関与する遺伝子と密接に関連しています。

屠畜直前にストレスの多い環境条件にさらされた場合、この変異がホモ接合である豚は、屠畜後に淡く、柔らかく、水っぽい（PSE）状態になる可能性があります。豚がストレスに曝されると、筋肉の解糖が増加を示し、グリコーゲン分解と乳酸産生の速度が速くなります。屠畜後、乳酸が急激に上昇すると、筋肉の温度がまだ高い（38℃）間に、pHが著しく急速に低下します。これにより、筋肉タンパク質が過度に変性し、保水性の低い非常に薄い色の豚肉になります。この一連の過程は非常に急速に発生するため、ATPは急速に枯渇し、場合によっては40分以内に死後硬直が起こります。ストレス遺伝子は2000年代初頭にすべてのPICの品種から除去されましたが、他の種豚メーカー由来のストレス遺伝子陽性のピエトレン系品種は、世界の一部の地域で未だに使用されています。

主にハンプシャー種で分離される肉質に影響を与えるもう1つの主要な遺伝子が、RN-（Rendement Napole）遺伝子です。この優性遺伝子は、主にIIB型筋繊維と筋肉のグリコーゲン含有量を増加させ、高い筋肉解糖を引き起こします。グリコーゲン貯蔵量が多くなることにより、屠畜後の解糖がより長く進行し、乳酸産生が増加し、通常の個体で予想されるよりもpHが低下します。RSEは通常、この現象が通常のpH低下率に関連している場合に発生します。ただし、ストレスによりpHの低下率が高くなると、PSEが発生する場合があります。

RN-遺伝子は、豚肉の柔らかさの改善に関係しています。これは、pHが低いことが原因である可能性が高く、タンパク質の変性が過剰になります（酸により柔らかくなる）。過度のタンパク質変性は保水性を失いますが、それはさらに加工製品用豚肉の価値を低下させます。保水性低下による経済的な悪影響により、PIC社および他のほとんどの主とメーカーは、2000年代に各社のハンプシャーの群からこの遺伝子変異を取り除くようになりました。

これらの2つの遺伝子変異とは別に、遺伝子選抜プログラムは、よりpHが高くなる遺伝的な能力を改良するのに効果的です。極限pHの遺伝的選抜により筋線維タイプの構成やストレス感受性が変化する可能性があります。これまでも品種によるpHへの影響が確認されていますが、他の形質を改善するための最新の選抜プログラムでは、従来の品種による差異は、豚の品種内のすべての系統でそれほど明白ではない場合があります。

3.2.3.2 グリコーゲン貯蔵がpHに与える影響

グリコーゲンは乳酸を発生する有酸素条件下での解糖の主な燃料です。筋細胞に貯蔵されるグリコーゲンの量はpH低下の程度に影響を与える可能性があります。グリコーゲンレベルを下げるための最良の方法の1つは、屠畜前の餌切りとストレスコントロールです。

屠畜24時間前の餌切りにより、グリコーゲンレベルが20～50%低下する可能性があります。酸化電位が高い（赤い筋線維が多い）筋肉は、餌切りによりグリコーゲン貯蔵の大部分を失いますが、元々あまり多くのグリコーゲン貯蔵を持っていません。餌切りによりグリコーゲン貯蔵量が減少するため、豚肉のpHが高くなります。

屠畜前ストレスもまた、嫌気性解糖を介してグリコーゲン貯蔵レベルを低下させる可能性があります。ただし、グリコーゲンを減らしてpHを下げるには、放血前に過剰な乳酸を筋肉から除去するため十分な時間を豚に与える必要があります。これは餌切り中に行う必要があります。

3.2.3.3 屠畜前ストレスがpHに与える影響

屠畜前ストレスは、pH低下の速度と程度に大きな影響を与える可能性があります。残念ながら、豚が農場を離れてから屠畜されるまでに発生するプロセスは、本質的にストレスを感じる傾向があります。

豚にストレスがかかると、ホルモン放出と生理学的変化のカスケード反応が起こります。これは嫌気性代謝を開始し、過剰な乳酸産生を引き起こします。豚がストレスから回復すると、乳酸は血液を介して筋肉から除去されます。しかし、従来の食肉処理プロセスでは、乳酸が筋細胞から完全に除去されるのに十分な時間がない場合があります、これが屠畜後のpH低下率に影響を与える可能性があります。

放血プロセスの近くまたは直前に発生するストレスは、屠畜後のpH低下に大きな影響を及ぼします。放血により、それ以上の乳酸は筋肉から除去されません。

一般的に、ストレスは、積み込みの過程、輸送、および荷降ろしから始まります。これらのストレス要因は場合によっては深刻になる可能性があります。屠畜前に豚が休息場で十分な休息を与えられた場合、屠畜後のpH低下への影響は小さくなるがよくあります。豚が飼育された農場を離れてからスタンニングされるまでに発生するストレス要因は、豚がストレスから回復する機会がないため、屠場に到着以前のストレスよりも屠畜後のpH低下に大きな影響を及ぼします。

多くの要因がストレスを生み出します

1. 極端な環境
 - a. 極度に暑い、または寒い温度
 - b. 湿度や暑熱
 - c. 質が悪い空気（換気）
2. 豚の動きに影響を与える農場設計の欠陥
 - a. 過度または不十分な照明、またはライトの配置の問題
 - b. 豚の動きに影響を与える過剰または不十分なスペース
 - c. 豚が90°を超える方向に曲がる必要がある、豚が傾斜を登ったり降りたりする必要がある、豚が長距離を歩く必要がある、床に変化がある、または壁がしっかりしていない通路
 - d. 反射や注意散漫を引き起こす不適切な排水
 - e. 欠陥のある、または不十分に設計された機器（積み込みや積み降ろし用シュート）
3. 屠畜前に豚を十分に休ませるための不十分な飼育スペース

4. 不適切な輸送手順
 - a. 過剰な収容密度
 - b. 敷材の問題
 - c. トラックの内外で豚のストレスのない移動ができないトレーラーの使用(例：ポットベリートレーラー)
5. 不適切なハンドリング
 - a. 一度に多くの豚を移動させる
 - b. 豚を速く移動させる
 - c. 雑なハンドリング、不適切な道具の使用、適した道具の誤用
 - d. 豚の移動を刺激するような不適切な人と豚の接触
6. スタンニング方法

様々な要因が直接的または間接的に豚にストレスを与える可能性があります。たとえば、乱暴なハンドリングは、その特定の豚に直接的なストレスを引き起こします。また、作業員が大規模な豚のグループを移動していて、グループが予期せず停止した場合、間接的なストレスが発生します。グループの規模が大きすぎて、スタッフが豚を前に簡単に動かすことができないため、グループを動かそうとして、後ろの豚に対して過度なハンドリングや乱暴な扱いをする可能性があります。この場合、停止した豚に直接ストレスがかかることはありませんでしたが、グループの後ろの豚に間接的にストレスがかかります。pHや肉質の観点からだけでなく、豚のアニマルウェルフェアを確保するためにも、これらのストレス要因を可能な限り軽減することが重要です。

3.2.3.4 枝肉の冷却がpHに与える影響

枝肉の冷却は、pHの低下、そして最終的には肉質にとって重要です。枝肉の内部温度が35° C以下に下がる前にpH値が6.0を下回ると、肉質が低下するリスクが高まります。逆に、死後硬直が終わる前に枝肉の内部温度が15° C未満に冷やされると、コールドショートニングが発生し、豚肉の柔らかさが低下する可能性があります。

通常の業界で使用されている条件下では、より積極的な冷却システムを使用しても、コールドショートニングのリスクは最小限に抑えられます。不十分な冷却の方が、業界においてはより一般的な問題です。これにより、pHが急速に低下するまたは低下する時間が延び、肉質が悪くなります。

放血時の筋肉の温度は約39° Cです。屠畜後24時間までに、枝肉の温度は5° C以下に下げる必要があります。放血後、血液は筋肉の温度恒常性に重要であるため、筋肉は温度を調節する能力を失います。

最初に、骨格筋から食肉へ変換される際の屠畜後の代謝により、枝肉の温度はわずかに上昇します。極端な場合だと、屠畜後30～60分で、ロースの深部の筋肉の温度が42° Cに達し、ももの深部の温度が43° Cに達する可能性があります。

発生する代謝のレベル、および屠畜を行う周囲温度は、屠畜後の温度上昇の程度を決定するのに役立ちます。ほとんどの場合、枝肉は屠畜後約30～45分で冷却プロセスに入ります。その時まで、熱の上昇はピークに達するか、すぐ後にピークに達します。枝肉が冷却プロセスに入ると、使用される冷却システムのタイプによって温度低下の速度が決まります。

3.2.4 枝肉の冷却の原理と肉質への影響

枝肉の冷却はできるだけ早く行う必要があります。豚肉業界で迅速な冷却を確実に行うためには、冷却の背景にあるメカニズムを理解することが重要です。

枝肉から熱をうまく取り除くには、温度差が必要です。この温度差は、冷却された枝肉の温度とそれが曝される周囲温度との差のことです。枝肉の冷却環境がより低温であると、熱平衡になるまで温度を下げるより大きな温度差となります。

温度低下の速度は枝肉と周囲環境との温度差により左右するため、温度差が大きいほど温度低下が速くなります。枝肉の熱除去の2つのメカニズムは、対流冷却と伝導冷却です。対流冷却は、枝肉の表面を通過する媒体によって熱が伝達されるときに発生します。枝肉を冷やす2つの媒体には、空気と水があります。対流冷却の速度は、枝肉の周囲の空気の流量の影響を受けます。強制対流はファンを使用して枝肉の周りの空気を動かしますが、自然対流はそうではありません。枝肉の周囲の熱が積極的に取り除かれ、より冷たい空気に置き換えられるため、強制対流は熱伝導を加速します。これにより、温度差が維持され、冷却速度が維持されます。多くの豚肉冷却システムは、これと同じ原理に沿って機能する水噴霧システムを使用しています。

伝導冷却では、熱伝達は振動する分子を介して中まで冷却されます。これらは、温度差の方向に熱を移動させます。枝肉の外側部分が冷やされると、枝肉の内部部分と温度差が形成され、それによって枝肉の内部部分から熱が取り除かれます。両方のメカニズムが同時に発生することに注意することが重要です。冷却速度は、温度差の維持による影響を受けます。

枝肉を冷却するための3つの主要な方法には、従来の冷却、スプレー冷却、および送風冷却があります。従来の冷却システムは通常、 $-1\sim 2^{\circ}\text{C}$ の温度設定値を使用し、ファン速度は $0\sim 3\text{ m /秒}$ の範囲です。多くの場合、冷却サイクル中に温度を調整して、冷却プロセスを高速化するか、枝肉が冷えすぎないようにします。

スプレー冷却では、枝肉に水を噴霧します。世界では主に2つのタイプの水噴霧システムが使用されています。これまでのスプレー冷却システムは、従来の冷却方法と同じ周囲条件かつ冷却の最初の数時間の間に水を使って何サイクルかします。トンネルスプレー冷却システムは、枝肉が冷却されたトンネル（約 1°C ）を移動するときに、枝肉に細かい霧状の水をかけます。その後、通常の冷却を行います。スプレートンネル内の時間はさまざまですが、通常は3～6時間です。

送風冷却では非常に低い温度と高速の空気を組み合わせます。枝肉の送風冷却システムは、通常、設定温度範囲が $-10\sim 14^{\circ}\text{C}$ 、ファン速度が $3\sim 10\text{ m/秒}$ 、それを90～120分行います。

送風冷却では通常、温度と風速の設定値が異なる様々なセクションが置かれます。より低い温度設定値とより速いファン速度設定値は、送風冷却プロセスの初期に置かれ、プロセスが進むにつれて中程度になるのが理想的です。枝肉は送風冷却セクションを出た後、温度と風速の設定値が通常の従来の冷却と同じ冷却室（熱平衡）に入ります。

枝肉の間隔などの要素は、冷却速度に大きく影響する可能性があります。枝肉間の熱を取り、良好な温度差を維持できるように、枝肉を適切に配置することが重要です。枝肉の間隔が不適切な場合、隣接する枝肉に接触しているすべての領域の温度差が減少し、冷却が不十分になります（図3.15）。送風冷却を使用する場合でも、送風冷却プロセス中に発生する温度差を維持するために、枝肉は平衡状態で適切な間隔で配置する必要があります。

これらの異なる冷却システムは、枝肉の温度低下、pH、および肉質の他の側面に大きな影響を及ぼし、送風冷却と他の形態の冷却との間に最も大きな違いを生み出します。PIC社は、従来の冷却（水噴霧の有無にかかわらず）の17屠場と送風冷却の9屠場の温度低下を評価して、温度低下、pH、肉色、および締まりへの影響を調査しました。送風冷却では、もも、ロース、かたの温度がより急速に低下し、全体的に周囲温度が低くなります（図3.16）。送風冷却によりロースの肉質も改善しました。具体的には、pHが0.10、ポークカラースタンドが0.24、締まりが0.20改善されました（図3.17）。

冷却の最初の1～1.5時間が十分な速度である場合（ロースの内部温度が32° C未満）、一般的に肉色は良好になります。しかし、冷却プロセスが適切な速度ではない場合（ロースの内部温度が13° C未満）、冷却の最初の4～5時間以内にpHが低下し、RSEポークが発生する可能性があります。

送風冷却のもう1つの利点は、枝肉の収縮が減少することです（温屠体と冷屠体の差を比較した場合）。ほとんどの従来の冷却を行っている屠場では約2～4%の収縮損失がありますが、送風冷却を行っている屠場では通常1.25%未満であり、多くは1%未満の収縮に止まりました。これは経済的に大きな影響を与えます。冷却の過程でpHや高い保水性を維持することにより、多くの水分が保たれ、結果的に最終商品の重量も維持されます。

図 3.15 枝肉の間隔が不適切であった場合

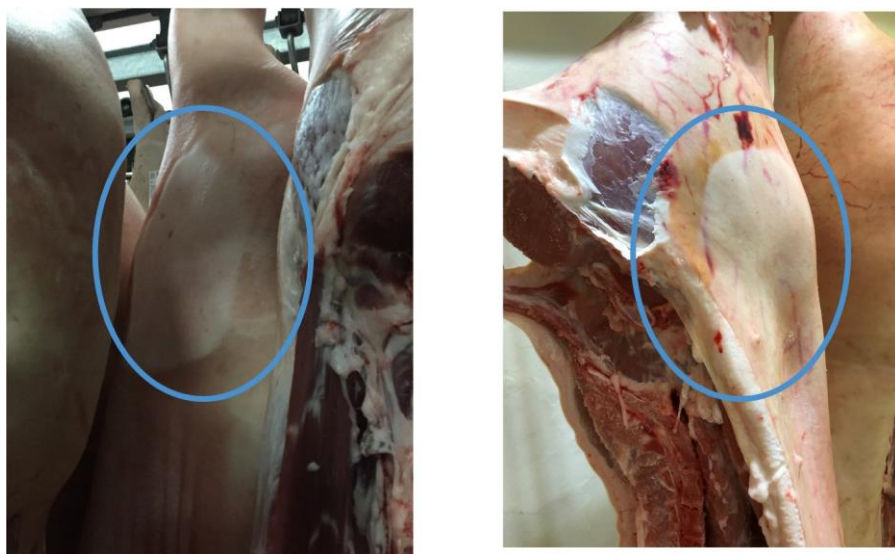


図3.16 従来の冷却と送風冷却の温度低下率の違い

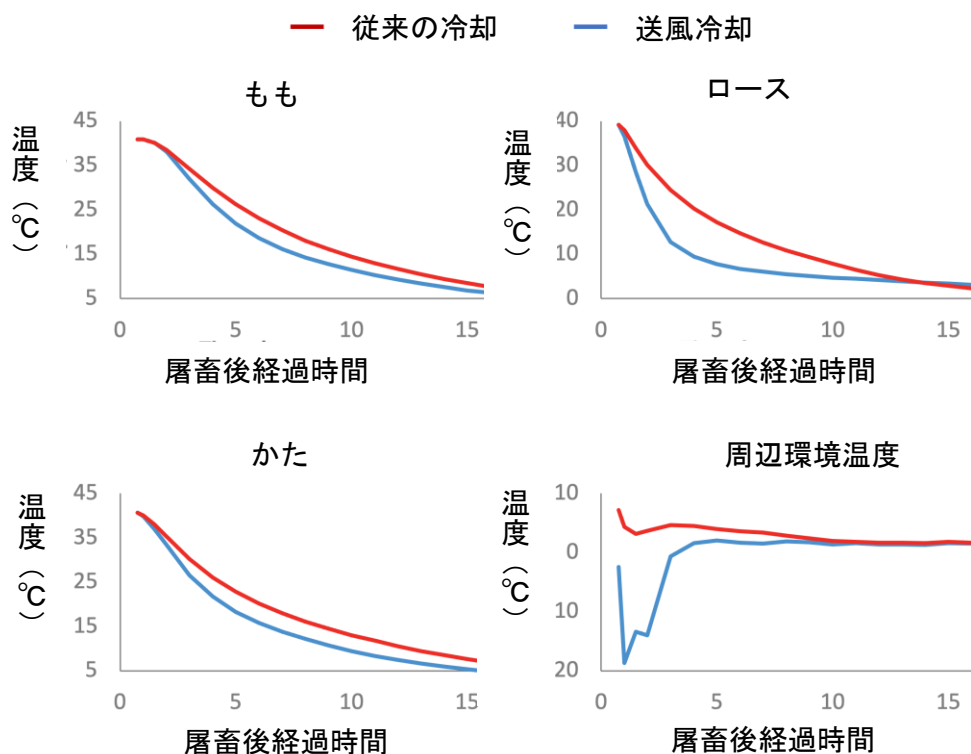
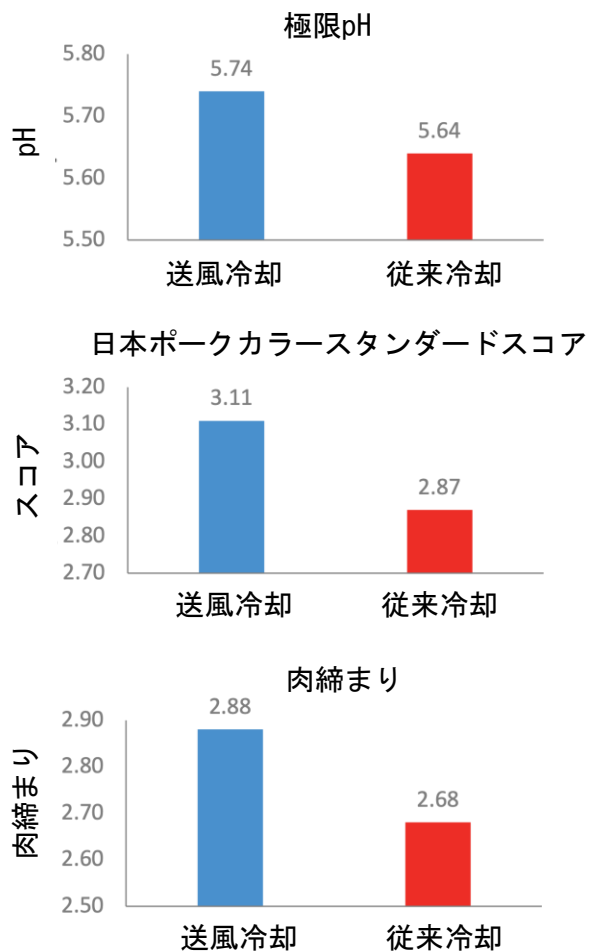


図 3.17 従来の冷却と送風冷却のロースの肉質の違い



3.2.5 スタンニングの原理と肉質への影響

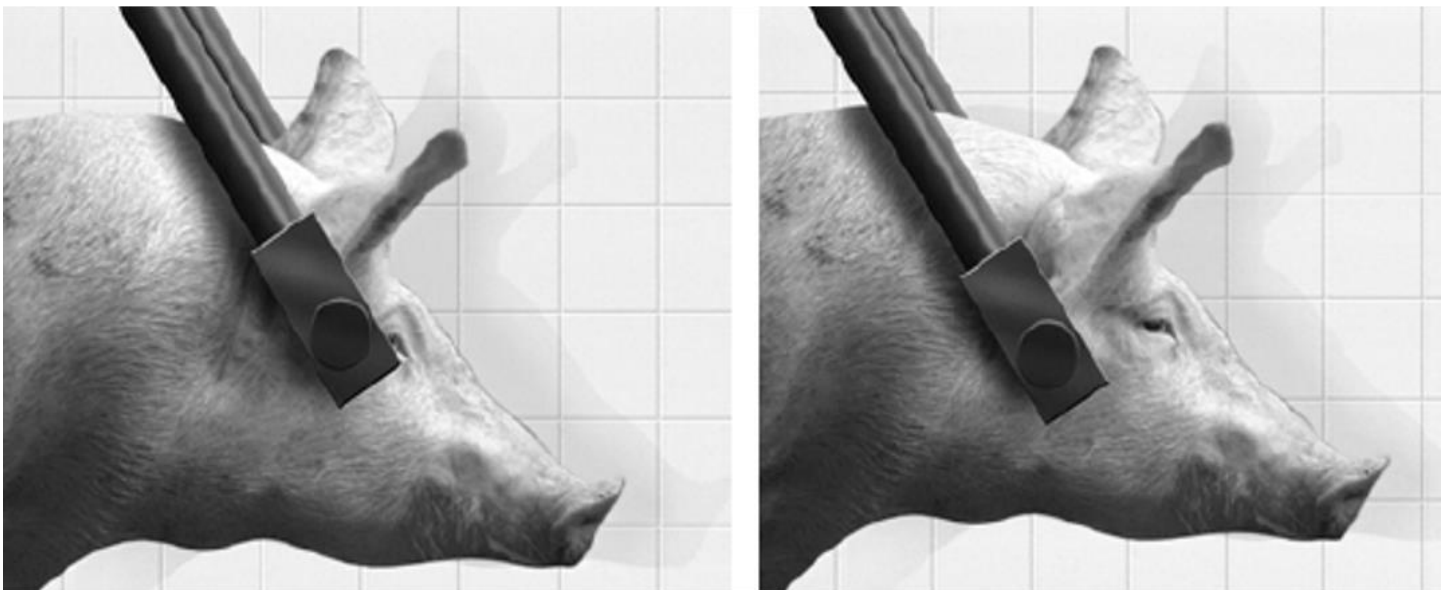
スタンニングにより放血前に豚を仮死状態にします。スタンニングには、キャプティブボルト（脳震盪式）、電気、およびガススタンニングの3つの方法があります。大規模な屠場のほとんどは、電気またはガス（CO₂）のいずれかを使用しているため、これらについて詳しく説明します。

3.2.5.1 電気スタンニング

電気スタンニングはてんかん様発作を誘発し、豚を仮死状態にします。これは、頭のみまたは頭と体両方に高電圧電流を流すことで行われます。

頭だけでスタンニングを行うには、電極を耳の後ろの首に配置して（図3.18a）、脳に電流を流します。頭と心臓のスタンニングでは、頭部に同様のプローブを使用し、心臓部分に追加のプローブを配置して（図3.18b）、心臓に電流を流します。頭だけのスタンニングは電極を逆に使用することも可能ですが、頭と心臓の場合は逆にすることはできません。この場合、心室細動（心停止）を誘発し、通常は放血前に死亡します。

図 3.18 電気スタンニングにおける適切な電極の位置



写真出典: Humane Slaughter Association, 2016.

効果的なスタンニングを行うには、適切な電流を使用することが非常に重要です。オームの法則によれば、電流は電圧を抵抗で割ったものに等しくなります。電流はアンペアで測定され、スタンニングを効果的に行うためには豚で1.25アンペアが必要です。抵抗（オーム/Ω）は個体ごとに異なります。電流が流れなければならない距離や電流が流れなければならない材料の導電率など、多くの要因が抵抗に影響を与える可能性があります。水は優れた電気伝導体であるため、抵抗を減らすため、スタンニング前に豚にシャワーを浴びさせることがあります。

100 kgの豚の抵抗は、通常、約150～350Ωです。150Ωの最小抵抗に基づいて、1.25アンペアを維持するために最低188ボルトが必要です。しかし、ほとんどの豚は188ボルトで効果的に仮死状態にできないため、最小抵抗にだけに基づいて考えるはいけません。350Ωの抵抗では、1.25アンペアの電流を供給して豚を効果的に気絶させるには440ボルトが必要ですが、これは150Ωの抵抗を持つ豚に必要な電流よりもはるかに高い電流（2.9アンペア）を流す必要があります。

電流が高いことは、動物福祉の観点では問題になりません。ただし、豚肉の品質の観点からは、骨の損壊の増加、血斑(点状出血、斑状出血)、または血液の滞留やクモ状静脈瘤(図3.19)が発生し、製品の価値が低下する可能性があります。血斑は、スタンニング時に血圧が上昇することが要因となります。これにより、血管から出血し、枝肉に視認できる血液の跡が残る可能性が発生します。

図 3.19 不適切な電氣的スタンニングによる枝肉の損傷



骨の損壊



血溜まりと
血管損傷



ももの血斑



テンダーロインの血斑

動物福祉の観点から適切なスタンニングを行い、かつ肉質の面での悪影響を避けるため、高周波のスタンニングがよく使用されます。周波数（ヘルツ(Hz)）は、電流の波形が1秒間に何回繰り返されるかを測定したものです。典型的な電流は50～60Hzの周波数を持っています。高周波電流（1000～3000Hz）により、骨折や点状出血を最小限に抑えることが可能です。ただし、研究によると、高周波スタンニングによってインピーダンスが増加することも分かっています。よって、標準周波数で使用する電圧よりも100ボルト上げる必要があります。

電気スタンニングは、固定電圧または可変電圧のいずれかによります。可変電圧では、定電流を供給することで豚を過剰または不十分な気絶にさせないようにするため、より望ましい方法であるといえます。固定電圧では、すべての豚を適切に気絶させる十分な電圧で使用する必要があります。その結果、一部の豚では電流が高すぎることで、骨の損壊や血斑が発生することがあります。

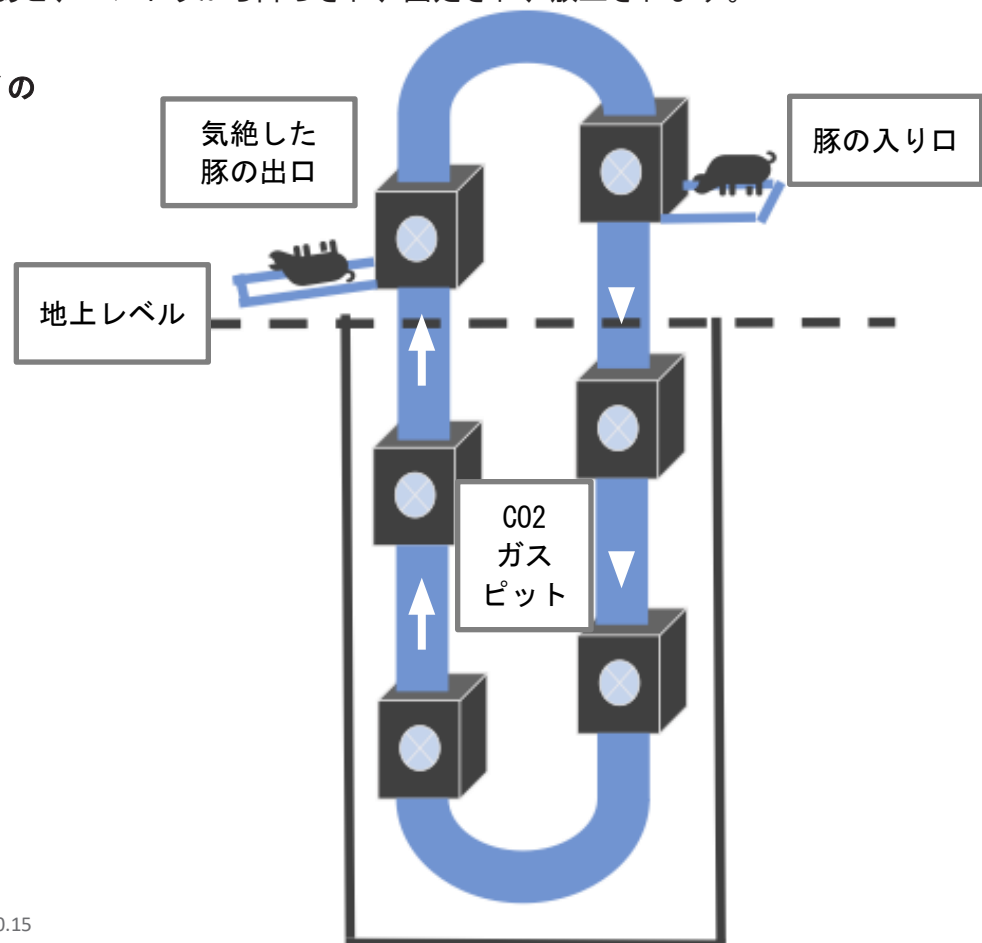
適切なスタンニングは、スタンニング機器の整備、適切な電極の配置、およびスタンニングの持続時間によって決まります。電極が汚れていたり摩耗していると、電気抵抗が200Ω増加する恐れがあります。同様に、電極の配置は、電気抵抗とスタンニングの有効性に影響を与えます。電流は3～5秒間流す必要があります。3秒未満の電流を供給すると、不十分な気絶が起こる可能性があります。また持続時間を、3秒を超えて増やしても、不可逆的な気絶を誘発する点のほかに利点はありません。スタンニング時間が5秒を超えると、骨の損壊、点状出血、血斑、および枝肉内部の血液滞留が起こる可能性があります。

3.2.5.2 ガス(空気制御)スタンニング

豚のCO₂ガススタンニングの使用は、過去30年間で劇的に増加しています。豚は高濃度のCO₂ガスによって、意識を失います。現在のCO₂スタンニングシステムのほとんどは、一度に4～8頭の豚を気絶させることができるようになっていますが、1頭ずつ気絶させる古いタイプも一部でまだ使用されています。

基本的な設計は、ゴンドラとディップリフトの2つがあります。ゴンドラは、観覧車のように動作します。複数のゴンドラ（通常は4～7個）があり、高濃度のCO₂ガスが入ったピットに降ろされます（図 3.20）。その後、気絶した豚は上部に戻されたあと、ゴンドラから降ろされ、固定され、放血されます。

図 3.20 CO₂スタンニングの一般的な流れ



ディップリフトはエレベーターのように動作します。これも高濃度CO₂のピットを使用しますが、ゴンドラは1つしかありません。ゴンドラには適切な数の豚を収容し、CO₂濃度が最も高いピットの底に移動します。豚が気絶するとゴンドラが持ち上げられ、豚は降ろされたあと放血されます。

すべてではないにしても、ほとんどの現在のCO₂システムは、古いサイドローディングシステムではなく、バックローディングシステムを使用しています。サイドローディングは、ラインスピードに合わせて効率的に移動させるために1列縦隊通路を使用して、横(サイド)からCO₂スタンナーに入れていきます。バックローディングシステムでは、1グループを一度に押し出して、スタンナーの後部から自動的に入れることができます。これにより、豚にかかるストレスレベルが大幅に減少し、肉質の向上にもつながります。

CO₂スタンニングの効果に影響を与える主な要因には、CO₂濃度、滞留時間(ガス曝露の長さ)および周囲温度が挙げられます。適切な濃度のCO₂を使用することが重要です。気絶を誘発している時間は豚にストレスを与える可能性があるため、ガス曝露から豚が意識を失うまでの時間を最小限に抑えることが必要です。

研究によると、CO₂レベルが90%未満の場合、意識を失うまでの時間が長くなります。”Raj and Gregory (1996)”の研究では、気絶を誘発するまでの時間は、90%CO₂で15秒、80%CO₂で22秒であることを示しました。私たちの一般的な経験に基づくと、95%を超えるCO₂濃度を使用した場合、通常約15~20秒経つと体が倒れ、鳴き声が止みます。90%を超える濃度であれば、同様の時間のままで十分であることはよくあります。各屠場によってスタンニングシステムは異なるので、CO₂ガスへの曝露後20秒以内に、すべての豚の体が倒れ、鳴き声が止むようにCO₂濃度を調整することが重要です。

放血まで豚を無意識のままにしておくために、曝露時間は重要です。曝露時間は、多くの場合、CO₂濃度によって変わります。CO₂濃度が高いほど、曝露時間は短くなります。曝露時間が長すぎると、効果的な放血ができなくなる恐れがあります。曝露時間が180秒を超えると、血液が血管に閉じ込められ、効果的な血液除去ができなくなります。そういった豚は、CO₂スタンナーから出てきたときに死斑(青紫の皮膚色)が生じます(図3.21)。これは、死後の血液滞留によって発生する皮膚の赤みが青紫へ変色するためです。

図 3.21 CO₂スタンニングで死斑が付いた豚



C02スタンニングエリアの周囲温度が7° C (45° F) 未満の場合、豚はスタンナーを出た後に意識を戻したような様子を示すことがあります。この発生を最小限に抑えるには、C02濃度を1%から2%上げる必要があります。

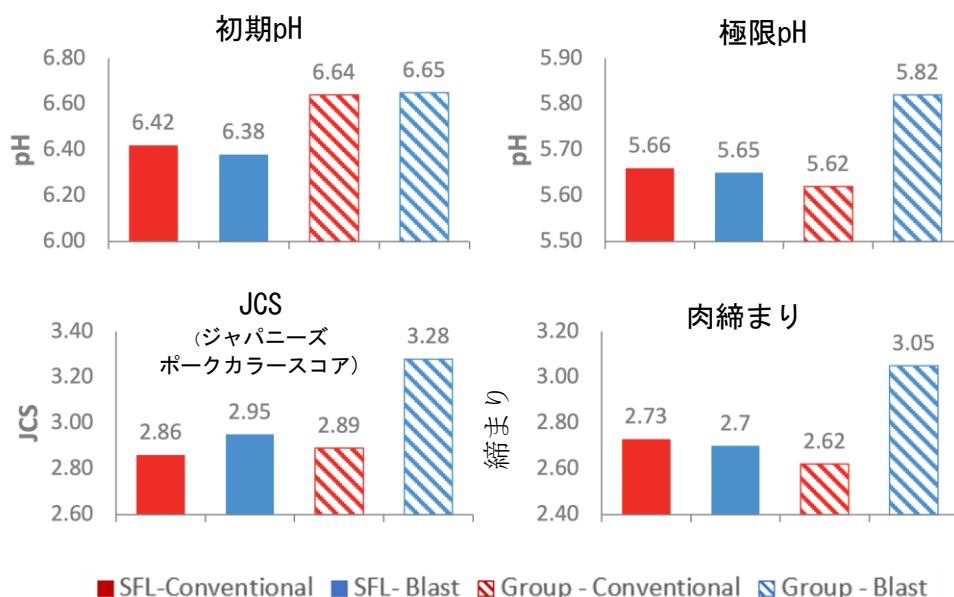
文献によると、C02スタンニングは、電気スタンニングと比較して肉質の向上につながります。最も一貫した効果は、血斑の発生がほぼ完全になることです。C02スタンニングは、電氣的なスタンニングのように血圧を上昇させないため、血液の飛沫の原因となる血管の損傷がなくなります。ほとんどの研究は、C02スタンニングによることで肉のpH、色およびドリップロスが改善されると結論付けています。

肉のpH、色およびドリップロスの改善というのは、実際にはスタンニング手順それ自体によるものというよりは、豚の取り扱い方法の改善によるものであると一般に考えられています。サイドローディングC02スタンナー（豚の列縦隊移動）をバックローディングC02スタンナー（グループ移動）に置き換えると、屠畜後pHが大幅に改善されます（pH0.20単位分）。これは、気絶する前の豚をグループで移動させることが、豚のストレスレベルを減らし、肉質を改善させることを明確に示しています。

PIC社は、26カ所の食肉処理場において、枝肉の温度低下、pH、色および締まりを評価して、肉質に対する従来の冷却（水噴霧有または無）と送風冷却の影響を比較しました。その比較では、スタンニングまでの豚の移動方法（グループか一列縦隊）および冷却速度（送風か従来型）に基づいて、屠場を分類しました。グループでのスタンニングでは、C02スタンニング及びスタンナーへの自動移動の方法で行われていました。一列縦隊でのスタンニングは、豚を一列縦隊で移動させる必要性から、電気とC02の両方の方法で行われていました。

グループでスタンニングされた豚は、一列縦隊移動の豚と比較した場合、ロースの初期pH（pH0.24単位分）が増加しました（図3.22）。ロースの極限pH、色のスコアおよび締まりは、送風冷却と組み合わせた場合にのみ改善されました。これらの結果は、通常の処理場の条件下において枝肉が不十分な冷却であった場合、気絶前のストレスレベルを下げるだけでは肉質を改善するために必ずしも十分ではないことを示しています。

図 3.22 グループでのスタンニングと冷却がロースの品質に及ぼす影響



SFL = スタンナーまで一列縦隊移動
 Group = スタンナーまでグループ移動
 Conventional = 従来型冷却
 Blast = 送風冷却

3.2.6 放血の原理と肉質への影響

放血 (Exsanguination) も肉の品質に影響を与えます。英語では、” sticking” または” bleeding” と呼ばれます。放血の目的は、豚を絶命させて血を取り除くことです。

放血では、心臓に近い主要な動脈と静脈を切断します。このときには必要最小限で頸動脈と頸静脈を切断する必要があり、それにより同時に他の血管も切断され、急速に放血が進みます。ナイフは胸骨より上のくぼみの正中線から心臓に向けて刺し、心臓に近い主要な血管を切断します (図 3.23)。

高品質の豚肉製品を製造するには、できるだけ多くの血液を取り除くことが重要です。一般的に、枝肉から除去される血液は全体のわずか50~60%であり、その他血液の多くは主要な臓器に残ったままです。血液は細菌にとって理想的な培地となるため、筋肉や脂肪の中に残っている血液では微生物が増殖してしまう可能性があります。微生物が増殖すると、製品の保存期間が短くなる可能性があります。血管内の残留血液 (図 3.24) は見た目を悪くします。それは、枝肉および/またはカット部位の製品価値を下げるものとなります。

図 3.23 適切な放血を行うためのナイフ挿入角度

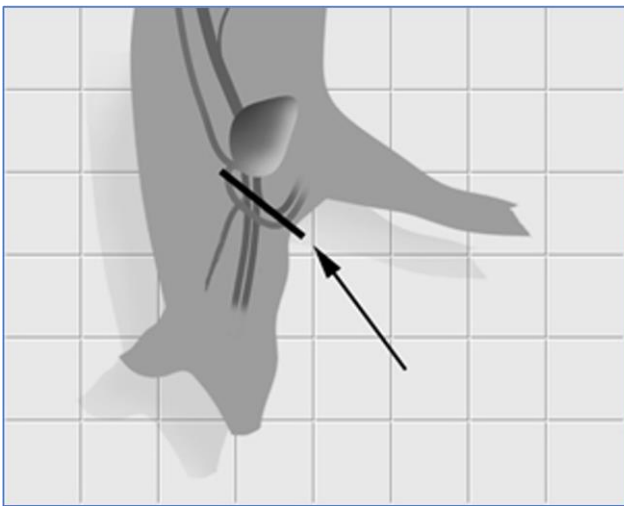


写真: Humane Slaughter Association. 2016.

図 3.24 血管内の残留血液



適切な血液除去は、スタンニング工程とも関連しています。スタンニング工程を終了してから放血するまでの時間経過の管理は、豚が意識を取り戻す前に迅速に絶命させるために重要です。放血のタイミングは最適な血液除去に影響します。ヘッドのみの電気スタンニングでは、10秒以内に行う必要があります。CO2スタンニングでは、迅速な血液除去がより大きな課題となります。CO2スタンニングでは、豚は90秒以上意識を失っている状態となるか、すでに死亡していることが通常です。CO2曝露時間が180秒以下(死斑が生じない時間内)であると仮定したとき、適切な血液除去を行うためには、ゴンドラの全ての豚は可能な限り60秒以内に放血を始める(遅くとも90秒以内)必要があります。

放血は、電氣的スタンニングではその直後にコンベヤーベルト上に水平に置いた状態で、CO2スタンニング(場合によっては電氣的スタンニングも)では吊るしてぶら下げた垂直な状態で行います。垂直状態での放血は、水平状態よりとても容易に行うことができます。ただし、スタンニングから放血までの時間を最小限に抑えることも重要であるため、電気スタンニングでは水平状態での放血が必要とされることがよくあります。

放血中は、ナイフを刺した傷口から血液がスムーズに流れることが重要です。豚にナイフを刺した直後から最大1分の間は血液が大量に流れます。その後は量が減少します。この時点ですでに、豚を絶命させるのに十分な血液が放出されますが、各部位に血液が残ってしまうのを防ぐために、さらに血液を除去する必要があります。血流が減少すると、刺し傷が閉じて血が固まり始め、その後の血液除去が妨げられる可能性があります。これは、CO2スタンニングでは、スタンニングから放血までの時間がとても長いため、電気スタンニングよりもこの問題が発生する可能性ははるかに高くなります。

これに対処する方法のひとつは、放血用チェーン全体にヘッドノッカーを設置することです(図 3.25)。豚の頭がバーの上で引っ張られて揺れ、刺し傷の血液が凝固するのを防止します。放血プロセスにおけるひとつの方法は、ナイフを刺したあと、ナイフを90度ひねってから引き抜くことです。これにより、通常の刺し傷とは対照的に、より「T」字型に似た傷の形になります(図 3.26)。この「T」字型の傷は、刺し傷が完全に閉じる恐れを減らします。ナイフのねじれ作用により、より多くの血管が切断され、より急速な放血が促進されます。

刺し傷は、幅が2.5 cm (1インチ) 以上である必要があります。そうしないと、簡単に閉じてしまうことがあります。ただ、過度に大きな刺し傷(> 3.8 cmまたは1.5インチ)は必要ではなく、むしろ刺し傷の周辺で余分なトリミングが必要になることで、枝肉価値に損失を生じる可能性があります。

図 3.25 血液凝固を防ぐためにヘッドノッカーを使用



図 3.26 適切および不適切なスティックの傷



- ・傷口が大きすぎる
- ・平らな刺し傷
(ねじっていない)



- ・傷口が大きすぎる
- ・平らな刺し傷
(ねじっていない)



- ・傷口が小さすぎる
- ・平らな刺し傷
(ねじっていない)



- ・適切な大きさの傷口
- ・平らな刺し傷
(ねじっていない)



- ・適切な大きさの傷口
- ・平らな刺し傷
(ねじっていない)
- ・刺し場所が中心から
ズレ過ぎている



- ・適切な傷
- ・大きさも適切
- ・ナイフをねじることで
「T」の形になっている



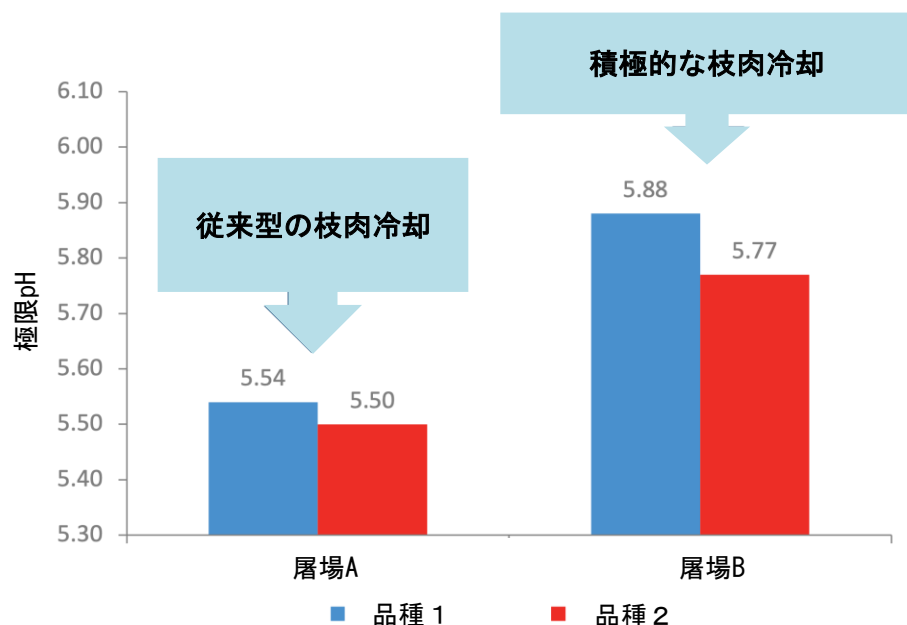
3.3 赤肉品質の管理

3.3.1 遺伝子

高品質の肉を生産するには、良い遺伝子を使うことが不可欠です。ただ、遺伝子は肉質の変化に大きな影響を及ぼすと考えられる一方で、システミック(管理可能)およびノンシステミック(管理不能)な環境要因は、その潜在的な遺伝能力の発揮に大きく影響します。

図3.27は、様々な管理工程が遺伝的能力の発揮にどのように影響するかを示した良い例です。この例では、積極的な冷却を行うと、異なる遺伝子由来の2つの枝肉の両方で、その遺伝的能力がより大きく発揮されることが示されましたが、より優れた遺伝的能力を持つ「品種1」の方では、その発揮される能力が「品種2」よりも大きくなることも分かりました。

図 3.27 遺伝的能力の発揮を妨げる環境要因



遺伝子が豚肉の品質の変化の約20～30%に影響を与えることは何年も前から知られています。ただし、これは、遺伝子による影響度の割合を増加させる可能性があるHAL-1843™遺伝子(ストレス遺伝子)とRN-(Rendement Napole)遺伝子はないことを前提にしたものです。極限pHを改善させるための育種を行うことやストレス感受性を下げることは、極限pHや肉色、保水性、食べたときの満足感を遺伝的に改良していくことに繋がります。(「セクション3.2.3.1」のpHへの遺伝子の影響も参照してください。)

3.3.1.1 遺伝子に関する推奨

- pHや柔らかさなどの豚肉の品質に関する改良が進められた遺伝子を使用すること
- ストレス遺伝子やRN遺伝子を持たない品種を使用すること

3.3.2 栄養

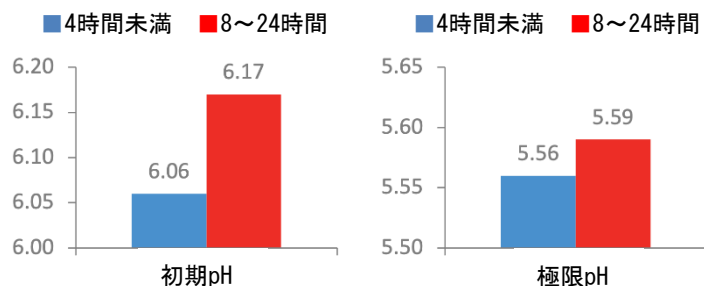
過去30年間で、研究者たちは栄養による肉質のコントロールに関して広く研究をしてきました。調査された飼料成分には、カルニチン、クロム、ベタイン、クレアチン、マグネシウム、鉄、マンガン、ナイアシン、ビタミンE、ビタミンDおよびビタミンCがあります（ただし、これらに限定されません）。

これらの成分は、pH、肉色またはドリップロス of のいずれかに対して改善効果があることが示されていますが、その結果には一貫性がないか、効果が小さすぎて実用的でないか、経済的に非現実的であることが多いです。屠畜前の豚の取り扱いによるストレスを軽減したり、枝肉の冷却速度を上げることの方が、栄養アプローチよりも最終的な肉質に対してはるかに大きな影響を及ぼします。

ただし、栄養は枝肉の脂肪量や種類、マーブリングレベルを変えることにも活用できます。脂肪酸組成は、目的の脂肪酸を給与することで簡単に変更できます。それらの違いが大きい場合、異なる脂肪酸は豚肉の風味に対しても影響を与える可能性があります。リジンが不足した飼料を与えることで筋肉内脂肪を増やすことは可能ですが、発育性や飼料要求率、枝肉の赤肉量に悪影響を及ぼすため、通常はあまり経済的な方法とは考えられません。

餌切りは、筋肉のグリコーゲン貯蔵を消耗させるため、肉質改善のために最も有効な栄養的アプローチと考えられます。4時間未満の餌切りと8～24時間の餌切りを比較した11試験のメタアナリシスでは、餌切りの時間を長くすることにより、初期pHと極限pH、肉色およびドリップロスが改善したことが分かっています（図3.28）。餌切りは食品安全性を高めることにも繋がります。腸の内容物を少なくすることで、内臓処理工程中に内容物が偶発的に漏れてしまうのを防ぐためです。

図 3.28 餌切りが豚肉の品質に及ぼす影響*



*9つの論文の11の試験結果を要約した。1試験のサンプル数が30頭を超える試験のみを含めた。この研究では24時間未満の餌切り時間と0～4時間の餌切り時間との比較を行った。

餌切りは肉の品質と食品の安全性を向上させるために重要ですが、過剰な餌切りは枝肉の価値を低下させる恐れもあります。枝肉の筋肉組織の収縮は、餌切りを始めてから24～30時間の間に起こり始めます。これにより、枝肉の重量が減り枝肉の価値が下がります。

3.3.2.1 餌切りに関する推奨事項

- 餌切りは、豚肉の品質と食品の安全性にとって重要です。
- 目標は、と畜前12～24時間の間飼料を与えないことです。
- 餌切りの合計時間は次のように考えます：
 - 輸送時間は餌切り時間に含めます。
 - トラックへの積込前、農場で最低6～8時間の餌切りを行ってください
 - と場で豚を積み下ろした後、豚を屠畜する前に最低2～3時間の休憩時間を設けてください。
- 豚舎から複数回の出荷がされている場合、特定の設備条件下や最初の出荷豚においては、出荷されない豚への飼料給与が途切れる恐れがあるときには餌切りを行うべきでないことがあります。
 - 出荷前に豚舎で給餌器の”餌切れ”が何度も発生しているような場合に出荷前の”餌切り”を行うと、潰瘍やその他腸の問題の発生により、農場に残っている豚の事故率が高まる可能性があります。

3.3.3 農場における豚の積み込み

農場での豚の積み込みは、肉質に影響を与える恐れのある最初の大きなストレス要因です。豚の取り扱い方法やそれに使用する道具、スムーズな移動を促進する設備を適切にしておくことで、このストレスを最小限に抑えます。

豚は常に小グループで移動させる必要があります。移動させる人間は、豚のバランスポイントの前に出たり、豚の死角に決して入らないようにしてください(図 3.29)。乱暴な取り扱いや大きな音を出すことは豚にストレスを与えます。これは、豚を動かすのに逆効果となります。豚の気を散らすものを排除し、光が大きく動かないような適切な照明を確保することも重要です(図 3.30)。

図 3.29 豚の行動の科学

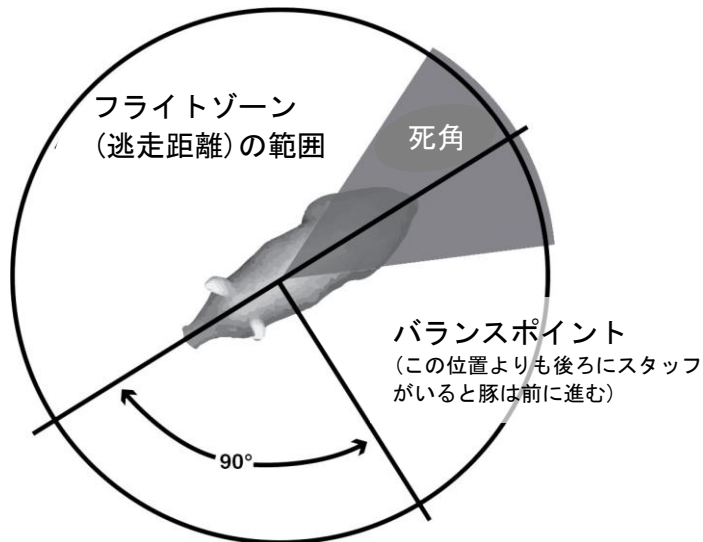


写真: National Pork Board's TQA Handbook, 2018

図 3.30 豚の移動に悪影響を与える不適切な照明の例



不十分な照明のみだと、
その光が豚の目に直接
入ってしまう

十分な照明だが、
吊るしている高さが低く、
豚の気を散らしてしまう

3.3.3.1 農場での積み込みに関する推奨事項

- 豚は、標準36インチ(約90センチ)の通路で、小グループ(4~5頭)ごとに移動する必要があります。
 - より広い通路では、より大きなグループを動かすことが可能です。
 - ストレスを最小限に抑えます。
 - より迅速な積み込みが可能です。
- 豚の積み込みには、適切な移動道具を使用してください。
 - 可能であれば、電気ムチを使用しないでください。 使用する場合でも、必要最低限にしてください。
 - ソートボード、パドルおよびフラグを使用します。
 - ゲートや出荷台で叫んだり、物を叩いたりするなど、大きな音を立てないでください。
- 豚のストレスを最小限に抑えるように配慮された積み込み用の坂を使用します。
 - 理想的には傾斜はない方が良いですが、必要があれば角度20度以下の傾斜を設置します。
 - 積み込み用の坂の床は、豚が滑ったり転んだりしないようにしておく必要があります。
 - 積み込み用の坂には、滑り止めの加工がされた床を使うこともできます。
 - 各地のガイドラインに従い、豚のサイズに合わせて等間隔な滑り止めを設置する必要があります。
- 積込中に豚が通るすべてのエリアに適切な照明を確保します。
 - 豚は、大きな光の動きがなく、明るい場所でスムーズに動きます。
 - これは、豚が異なるエリア間を移動する場合にとっても重要です(例えば、通路から出荷台へ移動するときや出荷台からトラックの荷台に入るときなど)。
 - 照明は光が拡散したり、光源が豚の気を散らさないように十分な高さに取り付ける必要があります。
 - 照明を高く取り付けることができない場合は、ライトが豚の気を散らさないように一方向だけを照らす照明を使用してください。
- 豚の移動を容易にする移動経路(ペンからトラック)を確保します。
 - すべての障害物(ホース、ペンを閉めるための鉄の棒など)や不用品を通路から取り除きます。これらは豚の気を散らしてしまうためです。
 - 90度以上の曲がり角は避けてください。
 - 移動経路の狭まりやその他の通路上で突然の変化がないようにします。
 - 床の形状の変化や床の排水高、水溜まりの光反射は、豚の気をそらし、動きに影響を与えます。
 - 理想的には、通路には豚2頭が並んで歩くのに十分な幅が必要です。幅が広すぎると、豚が振り返って戻ってくる恐れがあります。

3.3.4 豚の輸送

豚をトレーラーに積み込んだ後は、輸送中のストレスを最小限に抑えることが重要です。トレーラーの状態が良くない場合、積み込み中にかかったストレスは解消されません。 2時間未満の輸送時間では、通常、豚は積み降ろし前に積込時及び輸送時のストレスを解消できません。

トレーラーの設計、豚の快適レベル(温度と換気)及び収容密度の3つは、輸送中の豚のストレスレベルに影響を与える可能性のある主要な要因です。

3.3.4.1 輸送に関する推奨事項

- トレーラーの種類やその管理は、豚のストレスレベルに影響を与えます。
- 理想的で最適なトレーラーは、車内の坂や積込台を使用せずに豚の積込が可能なタイプです。
 - これらのトレーラーには、油圧可動式のデッキがあるため、豚はすべて同じ高さで積み込むことができます。もしくは、油圧リフトを使用して、豚を積込デッキの高さまで持ち上げることもできます。
 - 豚のストレス軽減の観点からは、スプリットデッキトラック(3階建て)よりもストレートデッキトラック(2階建て)の方が好ましいです。
 - トラックの床に、織り目加工やマット配置、床材撒布などの滑り止めがあることを確認します。
- 適切な車内温度と空気の流れ。
 - 業界の基準に従って、寒い時期にはトレーラーパネルを装着し、暑い時期にはパネルを取り外します。 目的地の気温だけでなく、輸送中の気温も考慮してください。
 - 暑い時期には、トラックの豚を冷やすために水を噴霧します。出発直前または出発時にのみ行うようにし、その後トラックが動くことで車内の湿度が高まるのが抑制されます。

- トラックに十分な床材を用意します。適切な床材を準備することで：
 - 尿を吸収し、豚が滑ったり転んだりするのを防ぎます。
 - 寒い時期に暖かさを提供します。
 - 床材が濡れていると夏に涼しさをもたらします。これはトラックが動いている状態で、十分な空気の流れを提供し、湿度の上昇を防ぐことができていることを前提としています。
- 適切な収容密度を確保します。
 - 過剰な頭数では、と畜場でのDOA(到着時の事故)の増加とストレスの増加をもたらす可能性があります。
 - 過小な頭数では、より多くの豚が転倒し怪我をする可能性があります。
 - 大規模な調査では、積載重量が225～250kg/m² (46.1～51.2 lb/ft²) となる収容密度にしておくことで、DOA発生率や豚のストレスを最小限に抑えることができるという結果が出ています。
 - 平均生体重量のわずかな増加でも、飼養密度に影響を与える可能性があり、輸送中事故を最小限に抑えるために積載頭数を減らすことを考える必要があります(表 3.2)。

表 3.2 250 kg/m² (51ポンド/ ft²) の収容密度を使用した場合の様々な平均生体重でのトレーラーの収容密度

平均生体重量 kg/lb(ポンド)	推奨収容面積 m ² /頭	推奨収容面積 ft ² /頭	65m ² (699.65 ft ²) のトレーラー スペースに収容する場合の頭数 (頭)
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

- 一旦トラックに豚が積み込まれたら、トラックはそのままと畜場に向けて出発し、到着後迅速に積み降ろしが行われる必要があります。
 - 不必要な長時間の停止は避けてください。
 - 豚の積み込みにかかる時間を把握しておくことで、トラックを予定された時間通りと畜場に到着させて、迅速に豚の積み降ろしができるようになります。
- 通常、輸送時間/距離が長い豚ほどその後の肉質が良くなります。
 - 輸送時間が2時間以下の場合、豚は積降し時のストレスを受ける前に、積込時のストレスを解消しておくことができません。
 - ストレスが複合すると、肉質をさらに悪化させる恐れがあります。
 - 輸送時間が2時間未満の豚は、と畜場で積み降ろした後、最低3時間休ませる必要があります。

3.3.5 豚の積み下ろし

豚がストレスをすばやく解消できるように、適切な積み降ろし手順と屠畜前の係留時間の確保が不可欠です。これは、係留場所だと畜前に十分休息させられない場合には特に重要です。

適切な豚の取り扱い方法、豚の取り扱い道具、および適切な道具の使用により、積み降ろし時のストレスを最小限に抑えます。トラックがと畜場に到着した後、積下しまでに時間をかけないでください。屠場は到着するトラックのスケジュールを管理する必要があり、関係者全員がこのスケジュールに従わなくてはなりません。

3.3.5.1 積み下ろしに関する推奨事項

- 以下の観点から、積下し中は豚を小グループ(4~5頭)で移動させる必要があります。:
 - ストレスを最小限に抑えます。
 - より迅速に積み降ろしを行うことができます。
- 豚の積み下ろしには、適切な道具を使用する必要があります。
 - 電気ムチは使いません。万が一使用する場合でも必要最小限にし、全体の10%以下での使用にとどめる必要があります。
 - ソートボード、パドル、およびフラグを使用します。
- 豚のストレスを最小限に抑えるように考慮された積み降ろし用の坂を使用します。
 - 理想的には傾斜はない方が良いですが、必要であれば、その傾斜角度は20度以下にする必要があります。
 - 積み降ろし用の坂の床は、豚が滑ったり転んだりしないように整備されている必要があります。
 - 滑り止めが付いている床材を使用します。
 - 滑り止めは積み降ろし用の坂の床上に間隔に配置する必要があります。
- 積み降ろしエリアには適切な照明を確保してください。
 - 豚は、大きな光の動きがなく、明るい場所でスムーズに動くようになります。
 - これは、豚がトレーラーから係留場所に移動するときに重要です。
 - トレーラーの停止場所に適切な照明が備わっていないと、移動が難しくなる可能性があります。
 - 照明は光が拡散したり、光源が豚の気を散らさないように十分な高さに取り付ける必要があります。
 - ライトを高く取り付けることができない場合は、ライトが豚の気を散らさないように一方向型の照明を使用してください。
- 豚の動きを容易にする通路(トラックから係留場所まで)を準備します。
 - 積み降ろし作業を開始する前に、必要なゲートが適切に全て開いていることを確認してください。
 - 移動経路からすべての障害物を除去します。豚の気を散らさないようにするためです。
 - 可能であれば、90度以上の曲がり角は避けてください。
- 床の形状の変化や床の排水高、水溜まりの光反射は、豚の気をそらし、動きに影響を与えます。

3.3.6 係留場所の管理

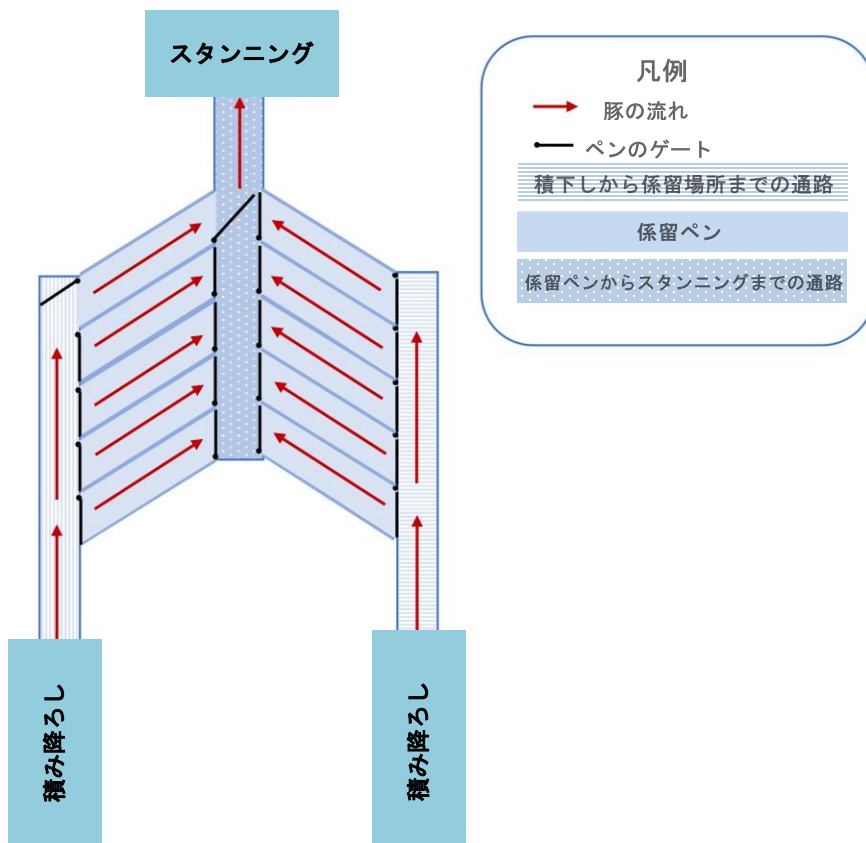
豚が係留場所で休む時間(屠場の中で囲っておくペン)は、農場を離れてから係留所に到着するまでに豚にかかったストレスを軽減するのに役立ちます。追加のストレスを発生させず、豚にとって快適な環境を整備します。

豚が係留場所を離れると、スタンニングされるまでストレスが軽減されることはありません。したがって、この時点までに発生したストレスを豚がきちんと解消できるように管理を行う必要があります。

3.3.6.1 係留場所の管理に関する推奨事項

- 温度と換気の管理は、係留場所で休む豚の快適さのために重要です。
 - 過度に高いまたは低い温度は豚にストレスを与える可能性があります。
 - 豚が農場で慣れている温度に近いレベルを維持します。
 - 暑い時期(> 27° C / > 80° F)に豚を冷やすために、係留場所には散水装置を準備する必要があります。
 - 温度が16° C / 60° F未満の場合は、散水は豚にとってストレスとなる恐れがあります。
 - 豚にストレスを与える可能性のある過度のアンモニアと湿度を防ぐため、十分な換気が必要です。
- 屠畜前の豚に十分な休息をとるとともに、効率的かつストレスをかけない豚の移動には、係留場所のデザインも重要です。これは積込時や輸送時、積み降し時のストレスを解消させるのに役立ちます。
 - 積み降し後に豚が十分な休息時間を確保するには、適切な数のペンが必要です。
 - 理想的には、すべての豚は積み降ろし後に3～12時間の休息期間をとる必要があります。
 - 少なくとも、豚はと畜前に2時間の休息をとる必要があります。
 - と畜前に2～3時間の休息しか確保できない豚の数は最小限に抑える必要があります（例：稼働終了直前のトラック1～2台分）。
 - 係留時間が16～24時間以上になると、枝肉の歩留りが減少する可能性があります。
 - 係留場所内のペンは、豚を出し入れしやすいようなデザインにしておく必要があります。
 - 一方にペン（係留用）を設置しておき、反対側から積み降ろししていくのが理想的です。
 - 豚が、90度未満の角度で曲がりながらペンに出入りできるようにする必要があります。
 - ヘリンボーンデザイン（矢はず模様型）が理想的です。（図 3.31）

図 3.31 ヘリンボーンデザイン（矢はず模様型）の係留場所



- ・積降し場所から係留ペンまで、およびペンからスタンニング場所までの距離をできるだけ短くします。
- ・ペンのサイズは、トレーラー1台あたりの到着する豚の頭数に適している必要があります。
 - 1つのペンに複数のトレーラーの豚を混在させないでください。
 - 係留ペンの収容密度は、豚1頭あたり少なくとも0.56 m² / 6.0ft²以上である必要があります。
 - 収容密度のガイドラインに合わせて、係留ペンに収容する豚の頭数を調整する必要があります。
- ・係留場所全体に適切な照明を確保します。
 - 豚は、大きな光の動きがなく、明るい場所でスムーズに動くようになります。
 - 照明は光が拡散したり、光源が豚の気を散らさないように十分な高さに取り付ける必要があります。
 - 照明を高く取り付けることができない場合は、一方向型の照明を使用して、豚がトラックから係留ペンへ、またはペンからスタンニング場所へ移動するときに照明に気を取られないようにします。
 - この時点で豚の気が散ると屠畜前に緩和できないストレスを引き起こします。ペンからスタンニング場所までの最後の移動時には適切な照明をおくことが不可欠です。
- ・床の形状の変化や床の排水溝、水溜まりの光反射、または通路上の障害物はすべて豚の気を散らします。豚の動きに悪影響を及ぼし、豚にストレスを与える可能性があります。

3.3.7 豚のスタンニング

スタンニング時に豚にかかるストレスは、おそらく最も肉質に影響を与えます。スタンニングは、それ以降での修正ができない段階です。このとき豚にストレスがかかると、肉質に永続的な影響を及ぼします。

豚を1列縦隊でゲートを通して移動させスタンニングする方法（図3.32）は、グループ移動させてスタンニングさせる方法よりも豚に大きなストレスをかけます。1列縦隊で移送させることをしてはいけないわけではないにしても、スタンニングに関わるストレスを排除することが非常に困難になります。新しいC02スタンニング方法では、豚をスタンナーまでグループで移動させることができ、ストレス管理はるかに容易です（図3.32）。不適切なスタンナーの設定は、豚のストレス増加や肉質の欠陥の一因となる可能性があります。

図 3.32 スタンニングまでの移動の方法



1列縦隊移動による
CO₂スタンニング



グループごとの移動に
よるCO₂スタンニング

3.3.7.1 1列縦隊移動の場合における推奨事項

- 豚の1列縦隊移動でストレスを軽減するための鍵は、豚の流れを可能な限り一定に保つことです。
 - 豚が1列縦隊移動ゲートに入る前に、豚にストレスをかけないようにします。
 - 豚がゲートに入る前にストレスを感じると、移動が困難になります。
 - ペンからゲートまで豚の移動の流れを一定に維持します。
 - 豚が前の豚を追いかけるようになると、動き続けていく可能性が高くなります。
 - 豚は、一定の流れを維持するのに適切な頭数で移動する必要がありますが、ストレスを与えずに移動できないほど大きくする必要はありません。
 - この場合、ペンから豚を移動させるときに複数の人が必要になることがあります。
 - 豚をゲートに通すために電気ムチを使用するのは最小限に抑えます。
 - すでに動いている豚には電気ムチを使用しないでください。動きが止まる可能性があります。
 - ペンからスタンナーまでのエリアに適切な照明を用意してください。
 - これは、特に豚がゲートとスタンナーに入るときに重要です。
 - 照明は光が拡散したり、光源が豚の気を散らさないように十分な高さに取り付ける必要があります。
 - 照明を高く取り付けることができない場合は、一方向型の照明を使用して、豚が照明に気を取られないようにします。
 - 大きな音は豚を怖がらせ（ストレスを与え）、豚の動きを妨げる可能性があるため避けてください。

3.3.7.2 グループ移動の場合における推奨事項

- 豚のグループ移動はコンスタントに進んでいく必要があります。ライン速度を維持するために豚を強く押す必要はありません。
 - ほとんどの場合、ペンから移動されるグループの頭数は、C02スタンナーのゴンドラ2~3台分の容量がどれほどかによって決まります。
 - ゴンドラ1台に7頭入る場合は、一度に14頭または21頭の豚をペンから移動する必要があります。
 - その後、豚はスタンナー前の自動プッシュゲートで7頭ずつのグループに分割されます。
 - C02ガス稼働サイクルと係留ペン構成に基づいてライン速度を調整します。
 - 豚が自動プッシュゲートに到着したときに、自動プッシュゲートエリアに入るのを待つ必要がないように、ペンから自動プッシュゲートへの豚の移動のタイミングを調整する必要があります。
 - 遅延により、豚は停止後に移動を拒否し、豚にストレスを与える可能性があります。
- ペンからスタンナーまでの適切な照明を確認してください。
 - 豚がスタンナーに入るとき、これは特に重要です。
 - 照明は拡散し、光源が豚の気を散らさないように十分な高さに取り付ける必要があります。
 - ライトを高く取り付けることができない場合は、ライトが豚の気を散らさないように一方向照明を使用してください。
- 大きな音は豚を怖がらせ（ストレスを与え）、豚の動きを妨げる可能性があるため、避けてください。

3.3.7.3 電気スタンニング管理の推奨事項

- 電気スタンニング機器の設定とメンテナンスは、豚の効果的なスタンニングを行うために重要です。
 - スタンナー設定は、動物福祉の観点から効果的に気絶させるため、最低1.25アンペアにします。
 - アンペアが一定の電気スタンニングでは、設定は1.25アンペアにする必要があります。
 - 定電圧システムでは、平均抵抗が250Ωであると仮定すると、必要な1.25アンペアを供給するためには電圧を313Vに設定する必要があります。
 - 抵抗の変動によっては、効果的なスタンニングのために電圧を上げる必要があります。
 - 電流は、最低3秒から5秒以内に豚に流す必要があります。
 - これらの設定は出発点であり、各屠場で必要に応じてそれらを調整して効果的なスタンニングを行い、枝肉の欠陥（骨折、血液の飛沫および血液滞留）の発生を最小限に抑えます。
 - 電極は定期的に清掃し、必要に応じて交換する必要があります。
 - 多くの屠場では、最適さの追求と交換し易さのため独自の電極を開発しています。
 - 電極が汚れていたり、摩耗していると、抵抗が200Ω増加する可能性があります。
 - 電気スタンニングに関わるすべてのポイントに対して定期的な保守点検をし、システムが常に適切に機能していることを確認する必要があります。

- 効果的なスタンニングを行うためには、電極の配置が重要です。(図 3.18).
 - 頭部電極は、豚の耳の後ろで、目の高さに配置する必要があります。
 - 首には使用しないでください。
 - 頭部-心臓スタンニングを使用する場合、心臓プローブを前肢の後側に配置する必要があります。
- 伝導率を向上させるため、スタンニング前に、豚に水を噴霧する必要があります。
 - 水は抵抗を減らし、より低い電圧で効果的なスタンニングを可能にします。
- V型拘束ベルトを備えた電気スタンニングは適切に管理する必要があります。拘束装置が想定しているサイズの豚でのみ使用してください。
 - 拘束ベルトの稼働速度をチェックして、ベルトが均一に動いていることを確認します。

3.3.7.4 CO₂スタンニングの管理に関する推奨事項

- CO₂濃度と曝露時間は、効果的なスタンニングを行い、ストレスを最小限に抑えるために重要です。
 - CO₂濃度は、気絶するまでの時間を左右します。曝露（または滞留）時間は、豚を確実に気絶させるために重要です。
 - ゴンドラでのCO₂濃度は、豚が姿勢を失い、20秒の曝露で豚が鳴き声を止めて倒れるのに十分な程度に高くする必要があります。
 - 通常88%のCO₂濃度が必要ですが、場合によっては96%もの高濃度が必要になることもあります。
 - 88%未満のCO₂レベルでは、豚が意識を失うことはありますが、20秒以内に気絶することはめったにありません。
 - 屠場ごとに適切なCO₂濃度は異なることがあるため、ある屠場で適切なCO₂濃度であっても、別の屠場では十分効果的ではない可能性があります。
 - 涼しい天候(<7° C / 45° F)のときは、CO₂濃度を上げる必要がある場合があります。
 - 豚が適切な速さで気絶していない、または意識が戻ってしまう場合は、CO₂濃度を上げる必要がある可能性があります。
 - CO₂センサーの位置を確認しておきます。
 - CO₂への曝露時間は、豚が絶命するまで気絶したままでいるのに十分な時間である必要がありますが、その後の放血を難しくするほどに長くしてはいけません。
 - 曝露時間が90秒未満の場合、95%ものCO₂レベルであったとしても豚は死ぬ前に意識を取り戻す可能性があります。
 - 180秒を超える曝露時間は、死斑などその後の放血時の問題を引き起こす可能性があります。
 - ライン稼働速度を維持するために、曝露時間の変更に応じて、ゴンドラあたりの豚の頭数を増減する必要があることがあります。
 - 曝露時間短縮のため、ゴンドラに推奨頭数を超える豚を入れないでください。
 - 曝露時間を短縮する場合、一部のゴンドラを不使用にすることは、ライン速度を維持し、ゴンドラあたりの豚の頭数を変更しないようにするための効果的なオプションです。
 - ゴンドラあたりの推奨頭数を超えて豚を積載しないでください。
 - CO₂センサーを定期的にチェックして、正しく機能していることを確認します。

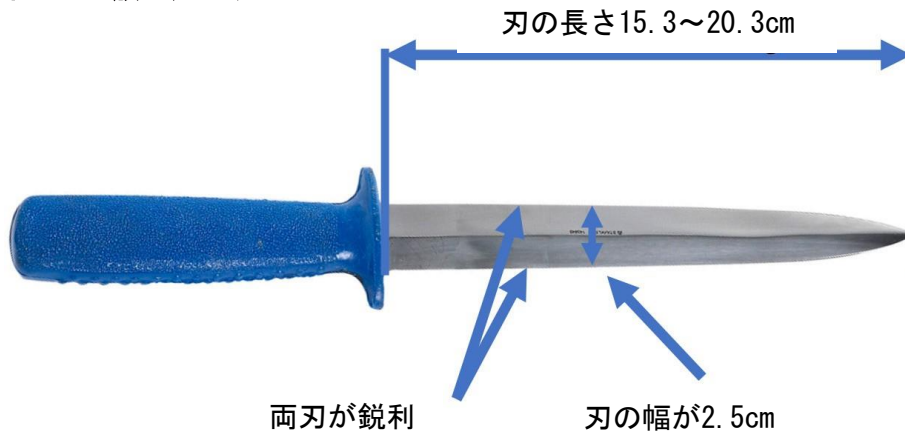
3.3.8 豚の放血

迅速な放血(“Sticking” / “Bleeding”)が重要であり、放血によって豚を絶命させます。放血が遅れると、豚は意識を取り戻す可能性があり、それは動物福祉の観点からあってはいけません。枝肉からできる限り血液を除去するためにも迅速な放血は重要です。放血が遅れると、血液の凝固が進み、枝肉からの血液の除去が抑制される可能性があります。

3.3.8.1 放血に関する推奨事項

- 放血のタイミングは、スタンニングのタイプによって異なります。
 - 頭部のみの可逆的電気スタンニングを受けた豚は、気絶後10秒以内に放血する必要があります。
 - 心臓細動を誘発する不可逆的頭部及び心臓スタンニングを受けている豚は、気絶後30秒以内に放血する必要があります。
 - CO2スタンニングを受けている豚は、60秒以内に放血する必要があります。できる限り90秒を超えないようにしてください。
 - この時間は、豚がゴンドラから降ろされてから最後の豚が放血されるまでの時間です。
- 適切な道具/手順を使用/遵守してください。
 - 刃の長さが15~20 cm (6~8インチ)、幅が2.5 cm (1インチ) で、両刃が鋭利になっているナイフを使用します(図 3.33)。

図 3.33 放血用のナイフ



- 胸骨の上にあるくぼみの真ん中にナイフを心臓に向けて刺し、心臓に近い主要な血管を切断します。
- ナイフを挿入したら、ナイフを90度ひねってから抜きます。
 - これにより、血液凝固が進みにくい「T」字型の棒状の傷ができます。
- 刺してできた傷のサイズは、幅2.5~3.7 cm (1~1.5インチ) の範囲である必要があります。
- 放血中はヘッドノッカーを使用してください。
 - 最初のヘッドノッカーは、放血後1分以内に枝肉に当たるできるように配置します。
 - 最初のヘッドノッカーの後、30秒ごとに別のヘッドノッカーに当たる必要があります。
 - これが確実に行われるように、必要に応じて追加のヘッドノッカーを設置してください。
- 放血後4分以内にほとんどの血液が除去されるため、放血用チェーンに5分以上の時間をかけておく必要はありません。

3.3.9 スタンニングから冷却まで

豚が気絶してから冷却に入るまでの時間は、枝肉の温度管理の観点から重要です。最新の屠場の多くでは、スタンニングから冷却までの時間は25～45分です。

この間、体毛の熱湯/焼却処理（“Scalding”/“Singeing”）により、枝肉にさらに熱が加わってしまう可能性があります。また、内臓の除去は、枝肉からの熱放出させるために重要です。

枝肉のない吊り具を埋めるためにバッファーレール（レールアウト）を使用する場合、適切に管理できていないと、スタンニングから冷却までの時間に悪影響を与える可能性があります。これは、屠畜後初期の枝肉冷却率にも影響を与える可能性があります。枝肉の温度を上昇させる恐れのある熱源への曝露を抑えて、できるだけ早く冷却工程に進めることが重要です。

3.3.9.1 スタンニングから冷却までに関する推奨事項

- スタンニングから冷却までの時間を管理します
 - スタンニングから冷却までの時間は45分未満である必要があります。
 - スタンニングから冷却までの時間を長くしてしまわないようラインの稼働停止時間は最小限にします。
 - 機器の適切な保守・点検により、ライン停止の一部は発生を防ぐことができます。
 - バッファーレールの使用はスタンニングから冷却までの時間を長くするため、使用を避けるか最小限に抑えることを検討してください。
 - 工程が進行していない「デッド」ラインスペースを作ることは避けてください。
- 枝肉に加わる熱をコントロールします。
 - 熱湯の温度を、体毛を効果的に取り除くことができる最小限のレベルに抑えます。
 - 熱湯処理の時間は、効果的に除毛するために必要な温度に影響します。
 - 熱湯処理の時間が短い場合は、少し高めの温度の熱湯が必要になる場合があります。
 - これは屠場ごとに試行錯誤が必要であることが多く、効果的な除毛に必要な最低温度を決定するために温度を調整します。
 - 浴槽を使った熱湯処理の場合、60° C (140° F) であれば、効果的な除毛を行うのに通常十分な高温であり、その処理時間は6～8分です。
 - 毛が硬くなるシーズンの豚や赤色または黒色の毛の割合が多い豚の除毛を行う場合は、必要な温度が61° C (142° F) に上昇する可能性があります。
 - 可能であれば、ラインの稼働停止中に熱処理の浴槽から豚を運び出します。

3.3.10 枝肉の冷却

枝肉の冷却は、良い肉質を実現するために重要な最終要素です。肉質を管理するためのPICブループリント上の各プロセスは、それより前のプロセスのうえに成り立ちます。場合によっては、後の管理プロセスにより、前のプロセスで発生した問題の影響を部分的に軽減することも可能です（例：輸送ストレスの後に係留場所で休ませるなど）。しかし、これは枝肉の冷却の場合には当てはまりません。

優れた枝肉冷却でも、その前に発生した問題を修正することはできません（例：屠畜直前の豚への過度なストレス）。枝肉冷却は、一般的に冷却に入るまでに作り上げられた肉質を維持することを目的にします。逆に、PICブループリントの他の要素が十分でも、冷却が不十分だと肉質は低下してまいります。

すべての屠場が送風冷却を行えるような設備を備えているわけではありませんが、従来の冷却システムであっても品質を改善したり、品質のばらつきを最小限に抑える方法はあります。

3.3.10.1 冷却に関する一般的な推奨事項

- 最適な品質のため、ロースの芯温は、屠畜後1.5～2時間で32° C (90° F) 未満、屠畜後4～5時間で13° C (55° F) 未満にする必要があります。
- 最適な品質のため、ハム(もも)の芯温は、屠畜後3.5～4時間で32° C (90° F) 未満、屠畜後7～8時間で13° C (55° F) 未満とする必要があります。
- 最適な品質のため、ショルダー(肩)の芯温は、屠畜後2～3時間で32° C (90° F) 未満、屠畜後7～8時間で13° C (55° F) 未満とする必要があります。

3.3.10.2 枝肉の送風冷却に関する推奨事項

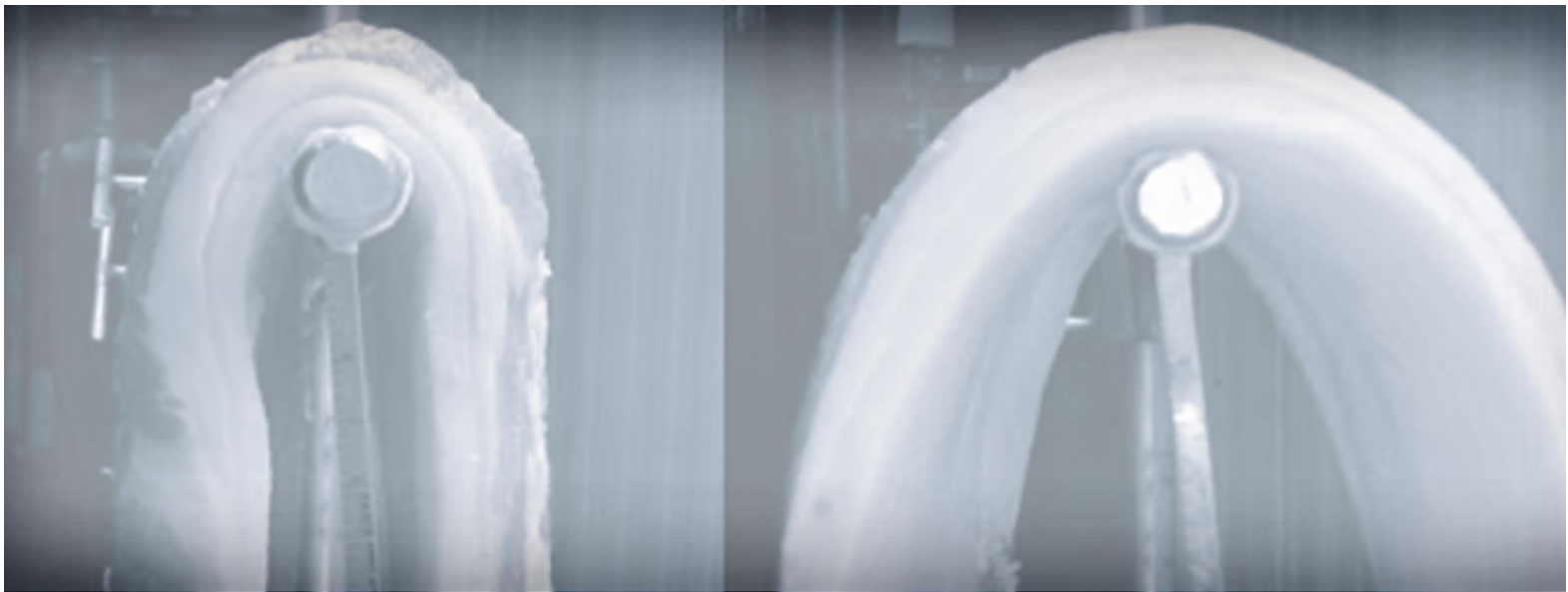
- 適切な送風冷却には、低温の空気と急速な空気の動きが必要です。
 - これらの設定の組み合わせを調整して、枝肉の冷却速度を上げます。
 - たとえば、ファン速度が10 m /秒 (33フィート/秒) で-15° C (5° F) に設定すると、5 m /秒 (16.5フィート/秒) のファン速度で-25° C (-13° F) に設定した場合と同じ枝肉冷却曲線が得られます。
- 送風冷却中は、対流による冷却を強化するため枝肉の間に空気が流れるよう枝肉の間隔を空けてください。
- 冷却率は、送風冷却に入ったあとと最初の30～60分に最低温度となり、対流冷却のための風速が最大になるときに最適となります。
 - 主要なプライマルカット部位に送風を向けることで、冷却速度を上げることができます。
 - 送風冷却中に、枝肉に薄い凍結層(クラスト)が形成されるはずですが。
 - 耳と頬は固く凍ってしまうかもしれませんが、主要部位(バラなど)は内部まで凍らないようにします。

3.3.10.3 枝肉平衡化冷却(従来型の冷却)の推奨事項

- 従来の方法で冷却される枝肉はすぐに平衡化の場所に移動し、送風冷却の枝肉は送風冷却後に移動します。
- 平衡化の間、温度、風速および枝肉の間隔は、冷却に重要な役割を果たします。
 - 一般的な平衡化温度は、-1～2° C (30～36° F) の範囲である必要があります。
 - 平衡化を行う場所の温度は、平衡化させる時間の前半には推奨よりもさらに低くして、より早く枝肉を冷却します。その後、後半に温度を高くすることにより、プライマルカットやサブプライマルカットへの加工を難しくしてしまうほどまで冷やされるのを防ぐことができます。
 - -1° C (30° F) より低い温度だと、枝肉の冷却をより速める可能性があります。
 - これは従来の冷却方法の場合において特に当てはまります。
 - 暖かい空気を枝肉から遠ざけるには、平衡化の間の空気対流を適切にすることが不可欠です。
 - 通常、風速は3 m /秒 (10フィート/秒) 未満です。
 - 平衡化の最初の10～12時間経過後は、枝肉が乾燥するのを防ぐためファンの速度を50%以下に下げする必要があります。
 - 最適な冷却のために、枝肉の間隔を適切に開けます。
 - 枝肉吊り具間は最小でも23cm (9インチ) 開けることをお勧めします。
 - レール間のスペースは、冷却中の枝肉間の適切な空気の流れを確保するために、0.61m (24インチ) 以上の間隔を空ける必要があります。
 - 平衡化中の水噴霧の活用は、冷却曲線を改善することができます。
 - 従来の冷却方法の場合には、水噴霧の活用を検討する必要があります。
 - 枝肉の間隔が不十分な場合は、水噴霧を行うことを検討してください。

セクション 4

豚肉の脂肪の品質



赤肉の品質が重要である一方で、前述のように、脂肪の品質（主に“締まり”によって判断されます）も全体的な肉の品質に影響を与えます。脂肪は、バラやリブなどの多くの豚肉部位の食用部となるだけでなく、またプライマルカットや骨なしカットのトリミング箇所としての役割も持ちます。

柔らかい脂肪はしばしば脂肪層の分離につながり、ハム（もも）と肩では赤肉の分離にも部分的に影響している可能性があります。バラの柔らかい脂肪は、通常のベーコンと電子レンジ調理用ベーコンの両方でスライス時の歩留りを減らしてしまうことが分かっています。また、脂肪が柔らかいと、一般的に豚肉を包装したときの見た目が悪くなります。柔らかい脂肪は、油っぽい/湿っぽいまたは透明に見えるベーコンになる可能性があり、真空包装されたときのベーコンスライスの鮮明さがなくなり、酸化（酸敗）もより早く進んでしまいます。さらに、柔らかい脂肪は、ソーセージにしたときに製品の外観の問題を引き起こす可能性があり、ボロニアソーセージのような油脂を多く使う製品の製品歩留りを減らす可能性があります。一般に、柔らかい脂肪は、製品製造の「作業性」を低下させ、外観を悪くし、酸化の進行を高めます。

脂肪も豚肉の風味成分です。スペインのイベリコハムなどの製品では、脂肪酸組成は飼料によって管理され、C18：1脂肪酸のレベルを高くされます。これにより豚肉の風味が向上します。逆に、特定の油（魚油やアマニ油など）を与えると、脂肪酸組成は長鎖（炭素：>20）多価不飽和脂肪酸の割合が高くなり、魚のような臭いや味がする豚肉になってしまう可能性があります。

市場の肉豚は過去30年間で赤肉量が増加してきており、脂肪の質は枝肉の価値を決める重要な特性の1つになりました。飼料価格の上昇に伴い、過去数年間で脂肪の品質への注目も高まっています。最小コストの配合飼料では、脂肪の品質やバラ等の部位の価値を損なう可能性のある成分になってしまう可能性があります。

このセクションでは、脂肪の測定、脂肪の品質に影響を与える要因および脂肪質の管理について説明します。

4.1 豚肉の脂肪の品質管理

4.1.1 重要指標

脂肪の締まりは、化学的または物理的測定の方法によって評価可能です。化学的測定には実験室での分析が必要ですが、物理的測定にはと畜場内で可能な測定方法も含まれます。下記はその例です。:

締まりの化学的測定

1. ヨウ素価 (IV)
 - a. 脂肪の締まりに直接相関がある
 - b. 現在、脂肪の締まりを評価するための方法として「ゴールドスタンダード」です。
 - c. 脂肪サンプルから吸収されたヨウ素の量で表される不飽和脂肪レベルを推定。
 - d. 脂肪の不飽和度を分析するために必要となる脂肪酸の二重結合の数を測定。
2. 脂肪酸組成分析
 - a. 各脂肪酸の割合は、ヨウ素価に直接関係します。
 - b. 特定の脂肪酸は、脂肪の締まりの指標としても使用できます。

締まりの物理的測定

1. 脂肪の色
 - a. 脂肪の色は締まりの指標となります
 - i. 白い脂肪は固く、黄色い脂肪は柔らかいです。
 - b. リノール酸(不飽和脂肪酸)は脂肪の色を黄色くします。
2. プライマルカットによる測定
 - a. 評価者による締まりの主観的評価。
 - b. バラ肉の曲がり具合や厚さを含みます。
 - c. 締まりのあるバラ肉は厚さがあり、曲がりにくくなります。
3. ベーコンスライスの歩留り
 - a. 締まりのあるバラ肉はスライス歩留りが高くなります。
 - b. ベーコンブロックとして調理済みバラ肉はスライスの前に冷やしておかないと、スライス歩留りや締まりの良し悪しが分かりにくくなる場合があります。

4.1.2 脂肪の品質測定

4.1.2.1 ヨウ素価と脂肪酸

上記のように、ヨウ素価は脂肪酸の不飽和度の尺度です。これは、100グラムの脂肪サンプルにおいて吸収されたヨウ素の量で表されます。不飽和脂肪酸には二重結合を持っており、それぞれの二重結合がヨウ素を吸収します。

“Wijs/Hanus法”は、ヨウ素価を直接測定する方法です。一部のラボでは、“Wijs/Hanus法”を今でも実践していますが、ガスクロマトグラフィー(GC)や近赤外分光法(NIR)などの新しくて効率が良い技術と比較すると、古い方法と考えられています。

ガスクロマトグラフィー(GC)は、ヨウ素価を直接計算はしませんが、個々の脂肪酸の量を測定できます。そして、その測定値と“American Oil Chemists' Society(AOCS) (1998)”で報告された次の式を用いて、脂肪サンプル中のヨウ素価を計算します。[ヨウ素価(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)]。

GCは各脂肪酸濃度を計算するため、これらの濃度を使用して締まりを推定することが可能です。ほとんどの通常の豚用飼料では、リノール酸含有量(C18:2)は、一般的に脂肪の締まりに悪影響を与える多価不飽和脂肪酸です。ヨウ素価の代わりにこの数値を評価に使用する人もいます。ただし、飼料配合は常に変化するため、ヨウ素価の方がはるかに信頼性は高いです。また、AOCsの方程式で考慮されていない従来にはなかった成分も、その後に飼料配合へ組み込まれ、脂肪の締まりに影響を与える可能性があります。

GCは非常に正確であるため、長年にわたって脂肪の品質分析の「ゴールドスタンダード」と見なされてきましたが、分析を実施するラボによっては、費用が非常に高額になる可能性があります(\$40~\$100 USD /サンプル)。また、サンプル分析の所要時間は通常長くなります(例:2週間)。

近年、脂肪の質を分析するため新しい技術としてNIRの活用が業界的に人気となっています。NIRを使用した脂肪分析は高速、正確かつ安価で、特に日常的に分析を行う場合に有益です。日常的に脂肪品質分析を実施する米国の屠場の多くは、施設内のNIR機器を使用して脂肪を評価しています。

米国のNIR機器は、一般に90,000ドルから100,000ドルの初期投資費用がかかりますが、脂肪の質の分析に外部検査機関を使用する必要がないことによるコスト減で、その分はすぐに回収できます。NIR機器は、多くの屠場で日常的に行われている他の一般的な試験にも使用できます。日常的な脂肪のヨウ素価分析のために多数のサンプルを収集する場合、投資に対するリターンは通常1~2年以内で全て回収できます。

NIR分析を行うための2つの主な方法には、固体脂肪分析と液体脂肪分析があります。固形脂肪分析ではサンプルの最低限の前処理で十分ですが、液体脂肪分析用のサンプルは分析前に融解する必要があります。GCによる分析と比較しても、どちらの方法も非常に正確です。

PIC社の内部調査では、NIRを使用した固形脂肪分析とGCの結果との相関は0.97でした。NIR液体脂肪分析とGC分析の相関は0.99でした。液体分析では精度を向上させるため脂肪を溶かすことに余分な労力が必要なことを考慮すると、固体脂肪分析を選択することは合理的ともいえます。処理するサンプル数や人件費も重要な考慮要素です。

サンプリングは、ヨウ素価と脂肪酸分析に関する重要なポイントです。まずサンプリング場所の一貫性を保つ必要があります。枝肉の特定の場所からサンプルを採ったら、その採取箇所の一貫性を維持し、同じ脂肪層がサンプリングおよび分析されていることを確認します。一般的にサンプリングされる3つの場所として、バラ、肩ロース/ロースの背脂肪および頬肉があります。バラ肉の脂肪と肩ロース/ロースの背脂肪のサンプルは比較的簡単ですが、多すぎるサンプルを採ると枝肉の価値に悪影響を与える可能性があります。

バラ肉の脂肪や肩ロース/ロースの背脂肪のヨウ素価は、通常、脂肪の質と相関関係があります。これらの2つの場所は、脂肪の質に影響を与える可能性のある豚の発育期間である出荷前4~6週間の飼料の変化に反応します。頬肉の脂肪は収集が簡単で、枝肉の価値を損なうことはありません。頬肉の脂肪のヨウ素価は、出荷前4~6週間の飼料の変化による影響を示すものではありません。上記の事情を考慮すると、バラ肉の脂肪または肩ロース/ロースの背脂肪がサンプリングに推奨される場所です。

より正確で枝肉へのダメージの少ないサンプリングをするためには、冷却後にサンプルを採取するのが良いです。ナイフやメス、肉用ハサミ、サンプルコア採取器を使用してサンプルを収集します。多くの屠場では、ナイフまたはメスを使用する場合は個人用保護具(PPE)の装着が必要ですが、ハサミやサンプル採取器を使用する場合には必要ないこともあります。ナイフはサンプル採取の精度が低く、枝肉またはプライマルカットを傷つける可能性があります。メスを使用すると、より正確で傷の発生も少ないですが、採取に時間がかかる可能性があります。サンプル採取器は高速かつ正確であり、枝肉への損傷を最小限に抑えながら一貫したサンプリングが可能です。サンプル採取器とハンドドリル(図4.1)を組み合わせることは、サンプル収集の最も効果的な方法の1つです。PIC社は、特に同じ脂肪層を一貫して測定するため、サンプルに皮膚を含めることでサンプル分析時の基準点とできるようにすることをお勧めします。

図 4.1 脂肪サンプルを収集するためにハンドドリルに取り付けられたサンプル採取器



サンプル群の特性を評価するには、サンプリングは群全体の性質を示すものである必要があります。極端に軽いまたは重い枝肉からサンプルを収集しないでください。また、群の平均部分からのみサンプルを収集しないでください。サンプリングは、枝肉ごとの違いがあることも考慮して、平均重量の2標準偏差内の枝肉で行う必要があります。性別も同様にサンプリングで考慮される必要があります。すべてのサンプリングで1つの性別のみを収集することも一般的に行われますが、他の混合データや異なる性別のデータと比較する場合は、注意する必要があります。

次に考慮すべき要素は、収集するサンプルの数です。ヨウ素価は個体ごとに異なり、標準偏差が高いという特徴があります。ほとんどの農場では、標準偏差はヨウ素価2.4~4.0単位分の範囲です。実際には、ヨウ素価1.0単位以上の変化は大きいと一般的に考えられているため、統計的に有効な方法であると言うには1.0単位ごとの差を検出できなければなりません。

表4.1は、サンプル群の標準偏差とサンプル数に応じて統計的に検出可能な差を示しています。例えば、この表でサンプル数が80であった場合、分析されたグループ間の検出可能な差異は、標準偏差に応じてヨウ素価1.1~1.6単位の範囲になります。この表に基づくと、80個のサンプルは、統計的に有効な結果を取得するために必要なサンプル数の下限になりますが、ただし標準偏差によって変化します。

表 4.1 サンプル数とヨウ素価の標準偏差に基づく検出可能なヨウ素価の差

サンプル数	ヨウ素価の標準偏差				
	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

考慮すべきもう1つの側面は、データをどのように比較するかということです。変化を見るために異なる週ロットを比較する場合、週に最低80のサンプルを収集する必要があります。異なる月ごとの比較をする場合は、週に少なくとも20個のサンプルを収集する必要があります。

4.1.2.2 脂肪の色

多価不飽和脂肪酸のレベルが高いと、ヨウ素価のレベルが高くなり、脂肪の締まりが低下します。またベータカロチンの増加を引き起こす可能性もあり、それにより脂肪が白色から黄色みがかった色に変わります。したがって、脂肪の色の評価は、脂肪の硬さを示すともいえます。

脂肪の色は、比色計を使用して客観的に決定でき、CIE L^* a^* b^* 値によって表されます。 L^* 値が低く、 b^* 値が高い場合は、脂肪の締まりがないことを示します。日本の色基準(畜試式豚標準脂肪色模型)を使用する主観的なスコアリングシステム(図4.2)によっても脂肪の色を評価できます。日本の豚脂の色の基準は4点制で、1は白、4は黄褐色/黄褐色です日本の色基準はオンライン(http://hamukumi.lin.gr.jp/color_standard.html)で購入できますが、日本の関係者のサポートなしに購入するのは難しいかもしれません。

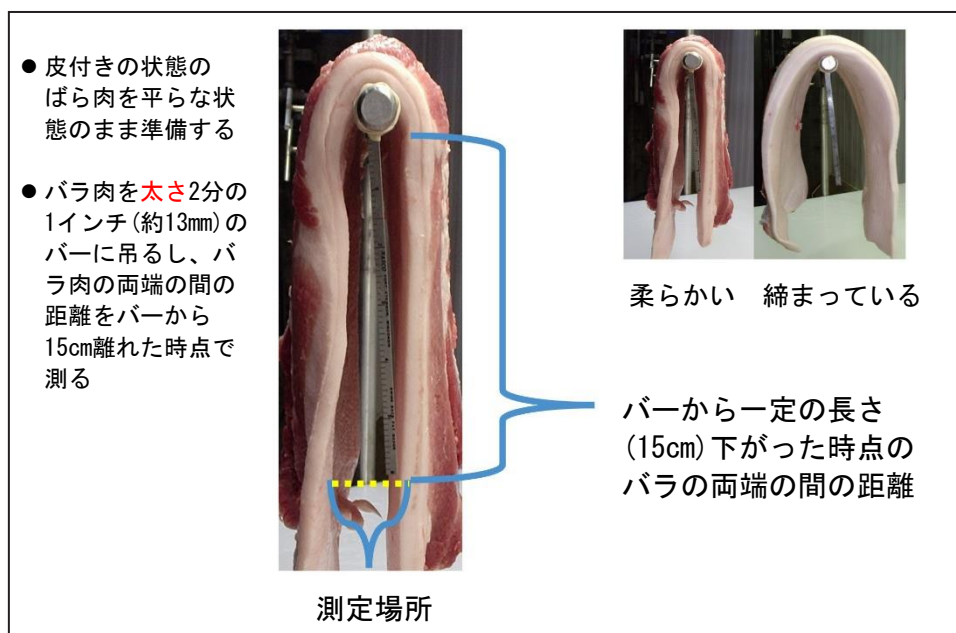
図 4.2 日本の脂肪色基準



4.1.2.3 締まり/脂肪質の主要な測定方法

ほとんどの評価はバラ肉を使って行われますが、ロースやハム用に開発されたものもあります。バラ肉の締まりの最も一般的で客観的な測定方法は、バラ肉の曲がり具合です。この方法にはさまざまなバリエーションがありますが、基本的には、バラ肉をバーの上に置いて、バーの両側にどれだけ垂れるかを測定するものです。バラ肉の端と端の間またはバーから特定の長さ離れた点での間の距離を測ります(図4.3)。測定前にバラ肉を平らに置き、バーに置く前に折りたたまないようにします。

図 4.3 バラ肉の曲がり具合測定



これと同じ考え方で、プライマルカットを持ったときの曲がる程度によってバラ肉やロースの締まりを測定するため、独自の主観的なスコアリングシステムが様々な地域で開発されました。これらの方法は単純に思えますが、プライマルカットの脂肪の質の良し悪しを区別することができます。ハムの締まりを評価するための方法も開発されました。これは、ハムがその形状をどれだけよく保持しているかを測定します。

上記のすべての脂肪品質測定方法において、脂肪は一般に高温よりも低温で固くなる性質上、評価する製品の温度を一定に保つことが不可欠です。

他にも使用される測定値としては、バラ肉の重量/歩留りおよびバラ肉の厚さがあります。かなり痩せてでもいない限り、重くて歩留りの高いバラ肉は通常、より締まりが良くなります。厚いバラ肉は重量も重い傾向があるので、腹の厚さはバラ肉の締まりと関連しています。

4.1.2.4 ベーコンスライス歩留り

ベーコンスライス歩留り試験は、脂肪の質が悪いことによる経済的影響を判断するためによく行われます。これらのスライス歩留り試験は通常、商業的条件で実施され、様々なベーコンカテゴリーごとの重量歩留りを評価します。実際の商業環境で個々のベーコンスライスがどの枝肉であったかを追跡することは困難であり、これらのテストを実施するのは簡単ではありません。したがって、これらのテストは通常、複数のバラ肉に対してグループごとに実施されます。

バラ肉への水分注入（インジェクション加工）の程度やスライス時のバラ肉の温度などの処理条件も、脂肪の品質試験に影響を与える可能性があります。たとえば、水分注入が過剰であったり、冷却が不十分である場合には、脂肪が固いか柔らかいかにかかわらず、スライスの歩留りは低くなります。スライス歩留りテストは実施が難しく、日常的に行う脂肪品質評価ではありませんが、脂肪の締まりを改善するために豚の飼料を変更したときなど、経済的効果を検証する場合に役立ちます。

4.2 脂肪の品質に影響を与える要因

遺伝学、飼料、栄養、枝肉構成、日齢、体重、性別、解剖学的な脂肪の位置、発育性など、多くの要因が脂肪の組成と品質に寄与します。これらのうち栄養は、脂肪の質に即時に影響を与える可能性のある重要な要素です。このセクションでは、脂肪の質に影響を与える栄養的要因を説明します。

4.2.1 脂肪の質と生物学

基本的な脂肪の質に影響を与える要因を理解するには、脂肪の化学的性質を理解することが不可欠です。脂肪は、脂肪（トリグリセリド、またはグリセロールと脂肪酸の組み合わせ）、水、タンパク質など、いくつかの成分で構成されています。脂肪酸は、化学構造または飽和レベルに基づいて、1) 飽和脂肪酸（二重結合なし）、2) 一価不飽和脂肪酸（1つの二重結合）および 3) 多価不飽和脂肪酸（2つ以上の二重結合）に分類できます（図4.4）。脂肪酸の飽和度は、脂肪の融点（硬さ）を決定します。飽和度の高い脂肪（硬い）は、不飽和脂肪（柔らかい）よりも融点が高くなります（図4.5）。

飼料中の脂肪と炭水化物は、哺乳類の脂肪を合成するために必要な長鎖脂肪酸の供給源です。飼料中の脂肪は容易に枝肉の脂肪に変換されます。このようにして作られた枝肉脂肪は、飼料中の脂肪と一般的に似た特徴になります（飼料中の柔らかい脂肪=柔らかい枝肉脂肪）。「豚は、それが食べたものだ」とよく言われます。

飼料中の炭水化物は、“de novo脂肪酸合成”と呼ばれるプロセスを通じて体脂肪に変換されます。これにより、飽和および一価不飽和脂肪酸が形成され、より締まりのある枝肉脂肪（低ヨウ素価）が生成されます。飼料中の炭水化物は脂肪酸の合成に使用されますが、豚を含む多くの哺乳動物は、“de novo合成脂肪酸”の $\Delta 9$ の位置を超えて二重結合を組み込むことができません。したがって、豚は、炭水化物から飽和および一価不飽和脂肪酸のみを形成することができます。また、枝肉の脂肪酸組成に多価不飽和脂肪酸を組み込むためには、飼料中の脂肪源からの必須脂肪酸（リノール酸などの多価不飽和脂肪酸）の摂取を必要とします。

図 4.4 脂肪酸の分類

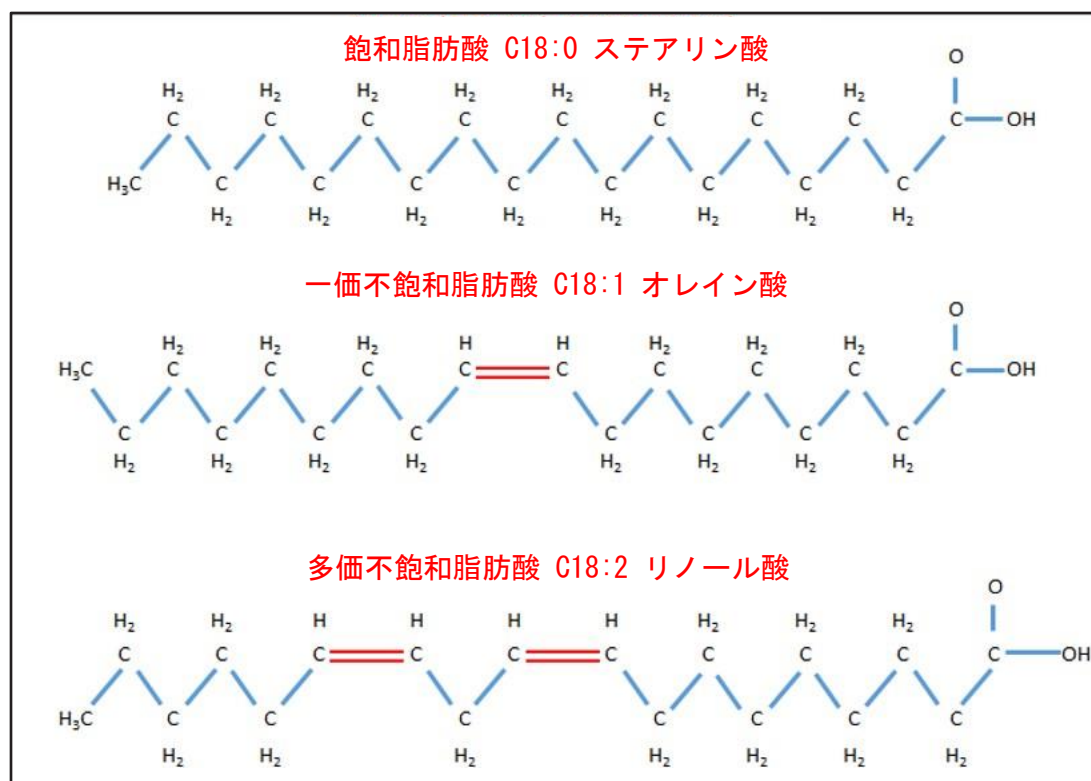


図 4.5 脂肪酸組成がさまざまな脂肪の物理的特性にどのように影響するか

	ココナッツ オイル	牛脂	豚脂	コーン オイル
% 飽和脂肪酸	77.0	48.4	38.9	12.9
% 不飽和脂肪酸	7.6	44.2	56.1	82.3
不飽和度が増加				
融点が低下				
締まりが減少				

飼料への脂肪の添加は、” de novo脂肪合成”を変化させるか、さらには合成を停止させます。飼料中の脂肪の割合が増えると、これにより” de novo脂肪酸合成”がさらに阻害され、飽和脂肪酸の蓄積が少なくなります（柔らかくなります）。飼料中の脂肪酸組成の飽和度が低くなる（柔らかくなる）につれて、豚の体脂肪（および枝肉脂肪）も飽和度が低くなります。

豚脂肪の脂肪酸組成は大きく変化します。表4.2には、ひとつの農場から出荷された16,000頭以上の豚の脂肪酸組成の平均と変動の大きさが記載されています。これらの数値は、豚の脂肪が変動し、多くの要因により影響を受けることを示しています。

表 4.2 単一の農場から出荷された豚の脂肪酸及びヨウ素価の平均と変動^a

項目	平均	最小	最大	標準偏差
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

^aデータは、主にトウモロコシ大豆粕飼料（脂肪とDDGS添加）を与えられた16,600頭の豚から得られたものです。飼料成分の比率は常時一定ではなく、時間とともに変化しました。

4.2.2 脂肪の質に対する非栄養的要因の影響

研究によると、豚の遺伝子型は脂肪の締まりに影響を及ぼします。一部の脂肪酸に関して、遺伝率の推定値（遺伝子の相加効果に寄与する形質における群の全体的な表現型の変異の割合）が報告されています。これは、脂肪酸組成と脂肪の質にも遺伝的な影響があることを示しています。（表 4.3）。

表 4.3 脂肪酸の遺伝率の推定 (Suzuki et al., 2006)

脂肪酸	遺伝率の推定 ^a			
	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	—	—

^aOSF = 外側皮下脂肪； ISF = 内側の皮下脂肪； INMF = 筋肉間脂肪； ITMF = 筋肉内脂肪

一部の脂肪酸（C16:0、C18:0、C18:1およびC18:2）と脂肪の融点は、それぞれ低い（<0.20）、中程度（0.20–0.40）または高い（> 0.40）遺伝率となっています。遺伝子型間の違いは存在しますが、遺伝子型間の脂肪の締まりによる違いのほとんどは、遺伝子型による脂肪の多さの違いに起因すると考えられます。脂肪量が増加するにつれて、通常はより飽和度が高くまたはより締まりが良くなります。

これは、より多くの” de novo脂肪合成” をして飽和脂肪酸の割合を高くした豚にもいえることです。たとえば、赤肉量の多い豚と脂肪量の多い豚(同じ農場で背脂肪の厚さによって選択)の違いは、脂肪酸組成に劇的な影響を及ぼします。これをヨウ素価にすると、約9単位分の違いに相当します(図 4.6)。他の研究では、赤肉量と脂肪量のレベルが異なる遺伝子系統を比較した場合(表 4.4)、またはヨウ素価に対する背脂肪の影響を評価した場合にも、同様の結果が得られています(図 4.7)。

図 4.6 2つの品種を開発するために同一の品種内で赤肉割合の多い豚と脂肪割合の多い豚に分けて選抜したときのヨウ素価への影響

(Scott et al., 1981)

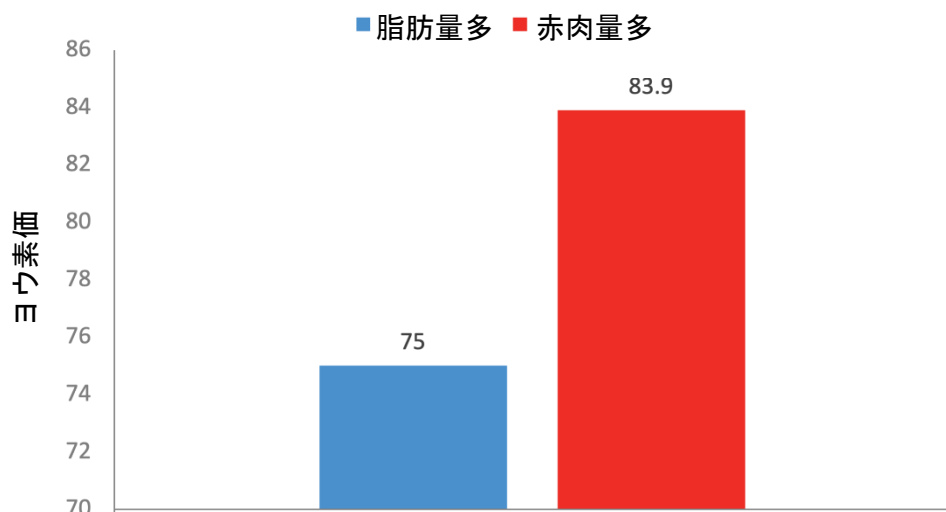
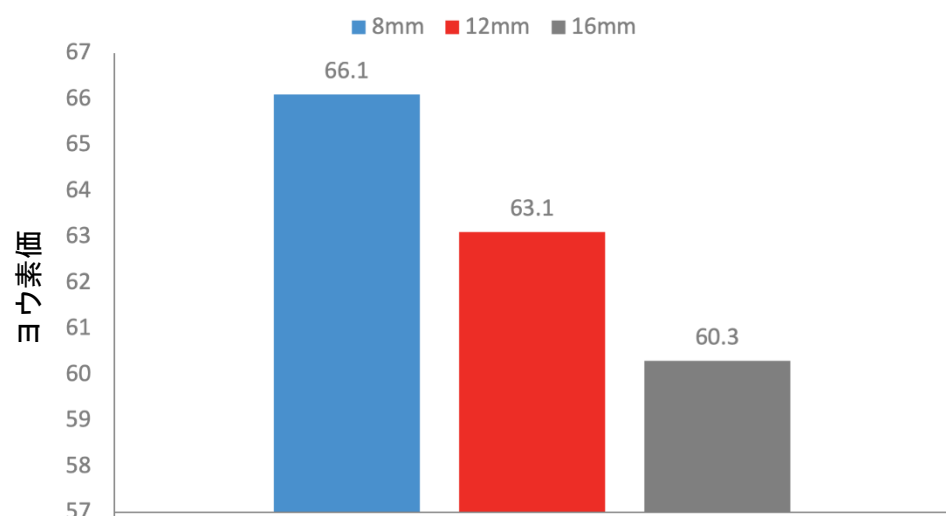


表 4.4 ヨウ素価に対する品種の影響

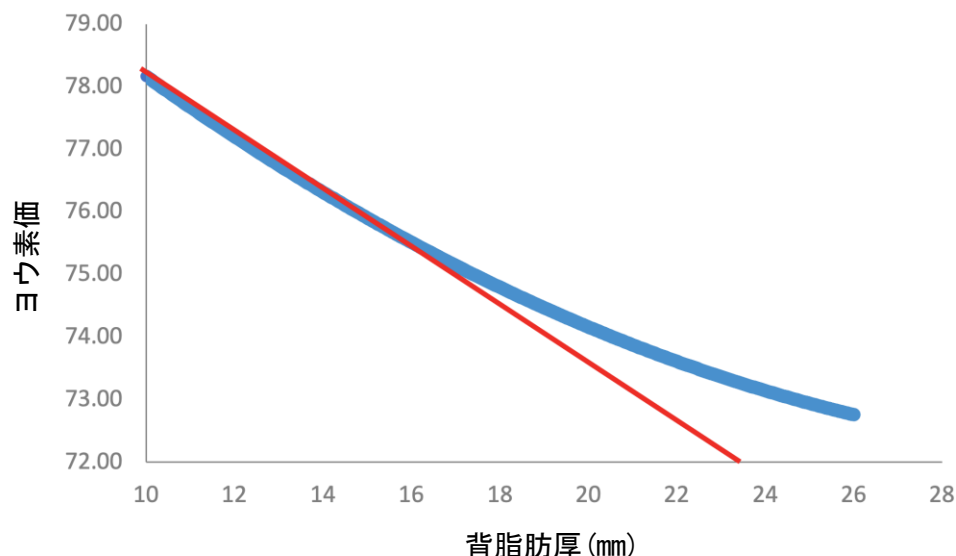
形質	Lo Fiego et al., 2005		Barton-Gade, 1997		
品種	L X LW	交雑種	LW	デュロック	ハンプシャー
枝肉重量, kg	134.9	132.0	68.5	67.3	71.8
背脂肪厚, mm	39.48	29.22	–	–	–
赤肉割合, %	–	–	54.3	56.0	56.8
ヨウ素価	65.2	69.7	61.0	66.0	66.0

図 4.7 背脂肪厚のヨウ素価への影響(Ellis and McKeith, 1999)



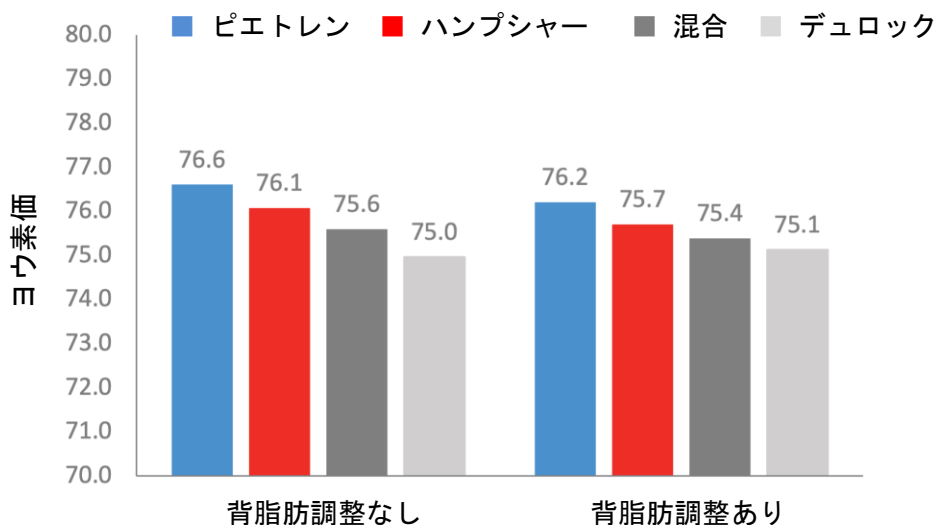
PIC社の調査では、背脂肪厚が上昇するにつれてヨウ素価が曲線的に減少することが示されています（図4.8）。ヨウ素価は、背脂肪の厚さが約18mmになるまで直線的に減少します。その後、背脂肪が18 mmを超えると、低下率が小さくなります。

図 4.8 ヨウ素価に対する背脂肪の厚の変化の影響(Matthews et al., 2018)



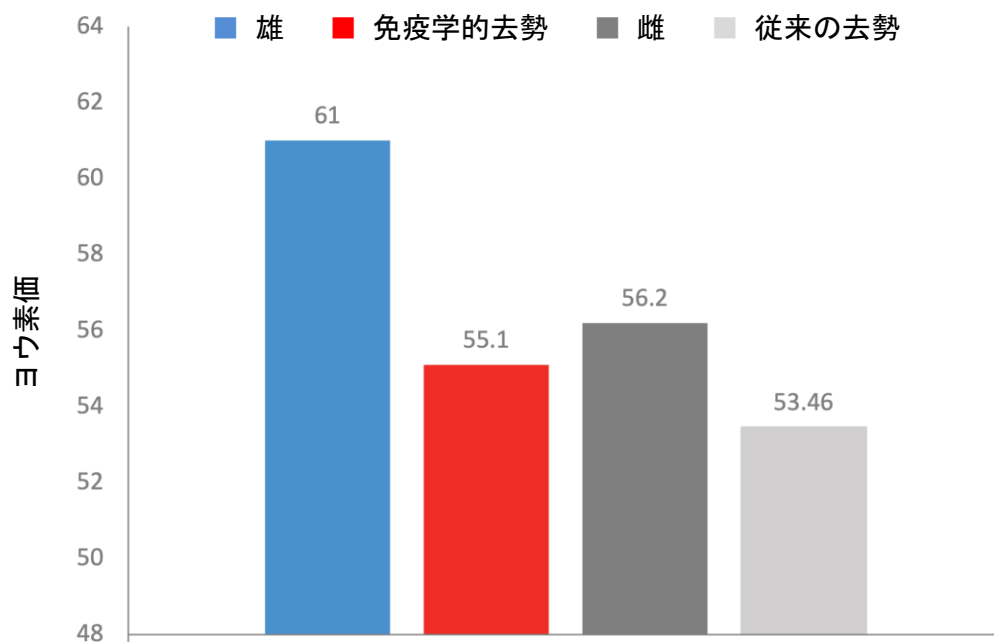
似た背脂肪レベル（または赤肉割合）や出荷体重、または似た栄養摂取の豚で比較をしたと仮定すると、多くの近年の遺伝子系統間の脂肪の締まりの違いは小さなものとなっています。PIC社の種雄品種を比較すると、業界で主流なピエトレンとデュロックという大きく異なる品種間では、同じ飼料を与え、同じ環境で飼育した場合、背脂肪の厚さを調整せずに見るとヨウ素価で約1.6 単位分の差があります（図 4.9）。これらのデータについて、背脂肪厚の調整をした場合、ピエトレンとデュロックの差はわずかヨウ素価1.1単位分でした。

図 4.9 ヨウ素価に対する種雄豚の品種の影響



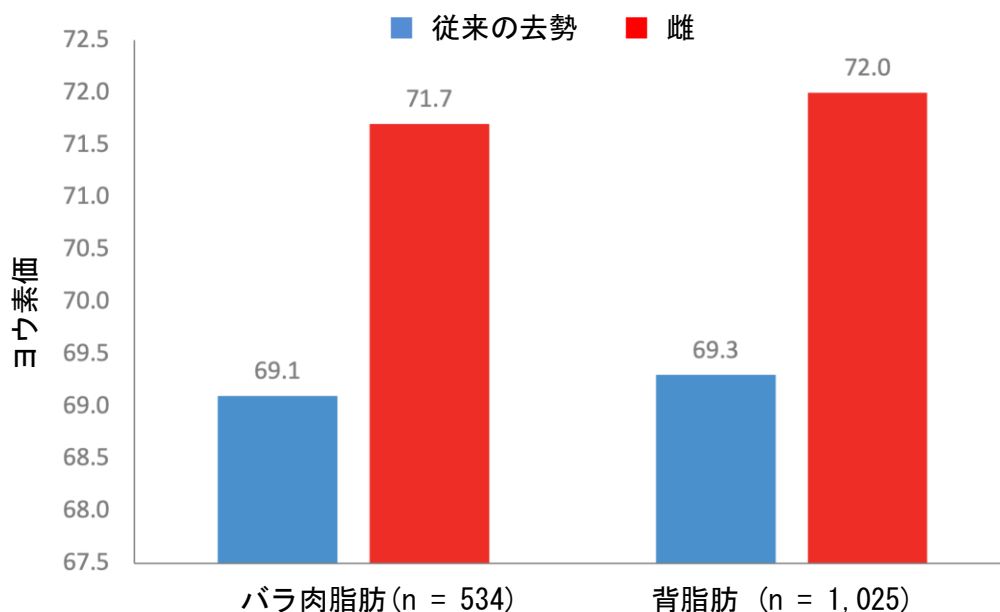
脂肪量は脂肪の締まりに大きな影響を与えるため、豚の性別も脂肪の締まりに影響を与えることが予想されます。雄豚のヨウ素価が最も高く、次に雌豚が続きます。従来の去勢豚のヨウ素価は最も低く、免疫学的去勢された豚のヨウ素価は雌豚に近くなっています(図 4.10)。PIC社の調査では、従来の去勢豚と雌豚を比較すると、バラ肉の脂肪でヨウ素価2.6単位分、背脂肪でヨウ素価2.7単位分の違いが示されています(図 4.11)。これは、他の多くの文献による報告内容と一致しています。性別の違いは、前述の遺伝系統の違いよりも差が大きいことに注意が必要です。

図 4.10 背脂肪IVに対する性別の影響(Grela et al., 2013)^a



^a ヨウ素価は報告書中の脂肪酸数値に基づいて計算されたため、統計的な分析は行われていない。

図 4.11 脂肪のヨウ素価に対する性別(去勢と雌)の影響 (Matthews et al., 2014)

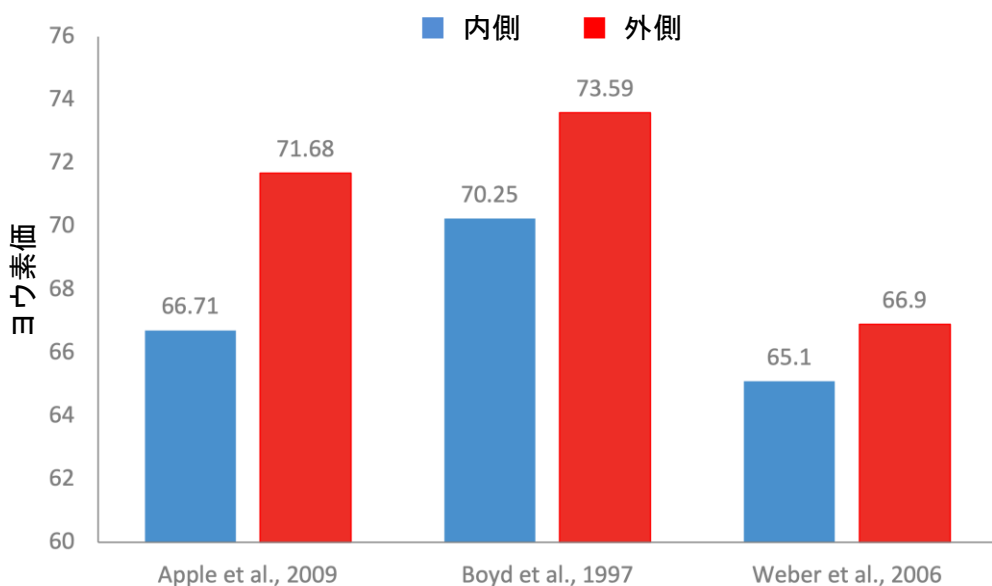


脂肪の解剖学的位置（採取位置）も、その締まりに影響を与える可能性があります。通常脂肪は、ヨウ素価を測定するときに、バラ肉、背脂肪または頬肉からサンプリングされます。頬肉脂肪のヨウ素価は通常、バラ肉脂肪または背脂肪で測定するよりも高いですが、バラ肉脂肪と背脂肪のヨウ素価レベルは、互いに一貫して区別できるほど十分な違いはありません。

頬肉の脂肪はより高いヨウ素価を持っていますが、多くの研究によると、ヨウ素価を改善するために栄養的アプローチが行われたとき、頬肉脂肪のヨウ素価は、バラ肉脂肪や背脂肪の脂肪ほど変化しないと報告されています。PIC社の調査によると、頬肉脂肪のヨウ素価の標準偏差はバラ肉脂肪のヨウ素価の標準偏差よりも小さくなっています。去勢と雌の違いは、頬肉脂肪で測定するとバラ肉脂肪で測定したときよりも小さくなります。

背脂肪の各層を比較すると、そのヨウ素価の違いも明らかです。内側の脂肪層のヨウ素価は、外側の脂肪層よりも低くなっています（図 4.12）。これらの違いを考えれば、ヨウ素価の評価を行う際には、同一の場所を一貫して測定することが重要です。

図 4.12 ヨウ素価に対する背脂肪層の影響^a

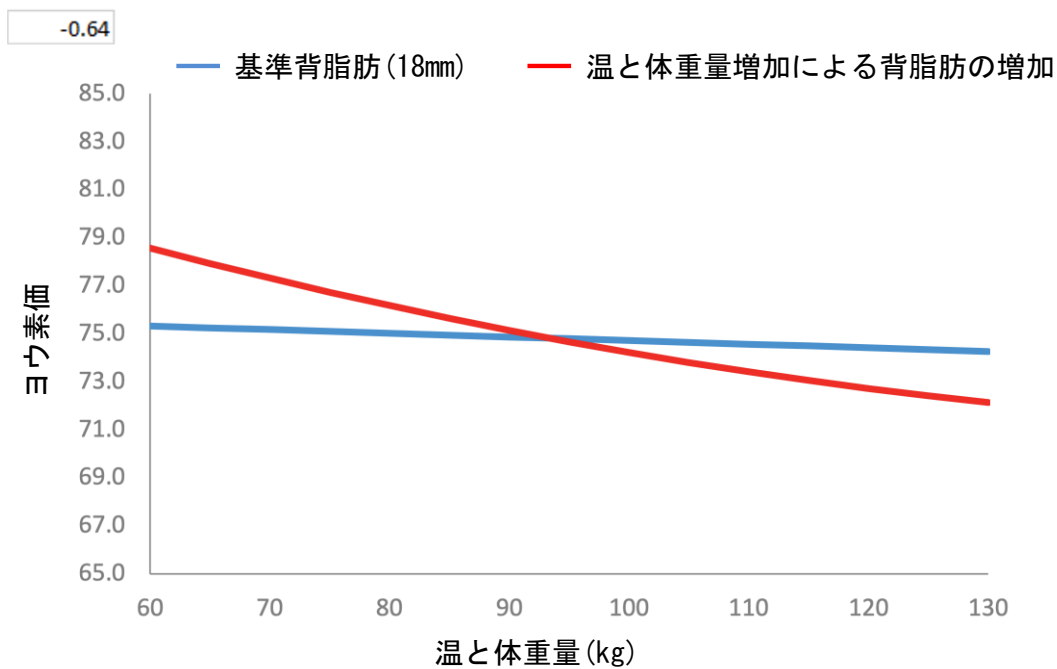


^a “Apple et al., 2009” の試験は3つの背脂肪層（内側、中間、外側）を分析しましたが、“Boyd et al., 1997” と “Weber et al., 2006” の試験は2層（内側と外側）しか測定しませんでした。実際には「真の」内層は存在しないか、背脂肪のごく一部であることが多いため、他の研究と一致するように、“Apple et al., 2009” の試験データの中間層を内層のデータとして使用しました。

豚の日齢/体重の増加が脂肪酸組成に影響を与えることは長い間認識されてきました。70日から220日齢になると、飽和脂肪酸が増加し、不飽和脂肪酸が減少します。これは、豚の日齢が増えるにつれて脂肪が固くなることを示しています。一部の研究では、107～125 kg (236～276 ポンド)の間では脂肪酸組成にほとんど違いがないことが報告されていますが、他の研究では、体重を159 kg (350ポンド)まで増やすと脂肪の締まりが改善されることも報告されています。

PIC社の調査によると、背脂肪が一定に保たれている場合、枝肉の重量はヨウ素価に最小限の影響しか与えません（図 4.13）。ただし、基本的に温と体枝肉重量が増えると、背脂肪も増えると予想されます（5kgあたり約1.2mm）。したがって、温と体の重量が増加すると、ヨウ素化は減少します。背脂肪の厚さに対するヨウ素価の曲線的反応のため、枝肉重量の増加に伴うヨウ素価の減少は、重い重量帯（重量100～130kgにおいて枝肉重量1kg増加当りヨウ素価約0.07単位分の減少）よりも軽い重量帯（重量60～100kgにおいて枝肉重量1kg増加当りヨウ素価約0.10IV単位の減少）の方が大きくなります。

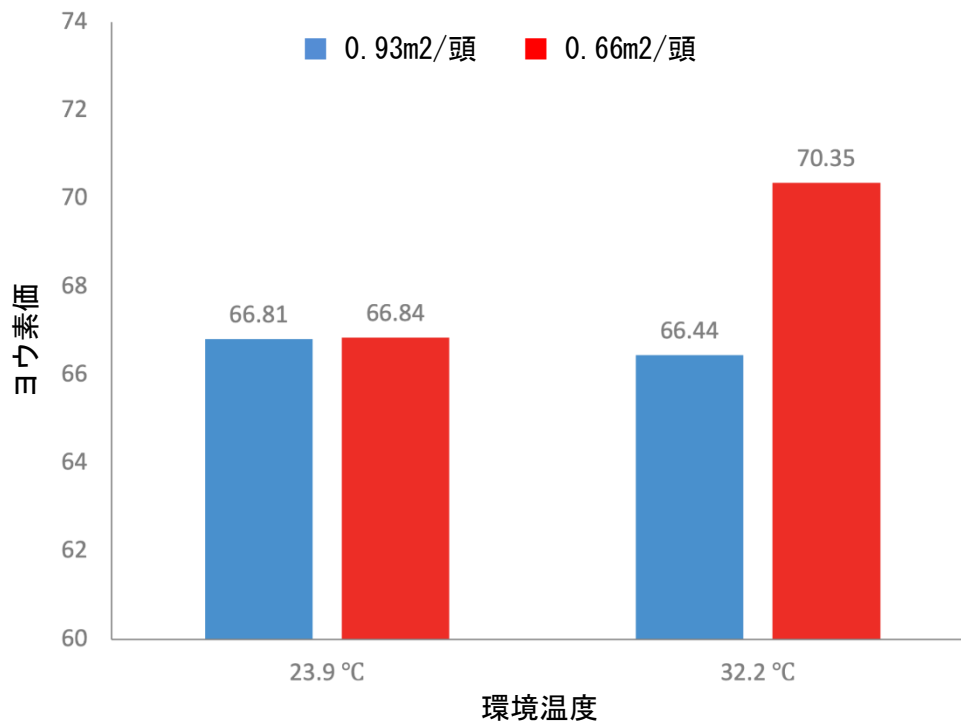
図 4.13 温と体重量がヨウ素価に及ぼす影響(Matthews et al., 2018)



a 温と体枝肉重要が5kg増えるごとに1.2mmの背脂肪が増加すると推定

脂肪の質に影響を与える可能性のある他の要因として、豚の健康状態や飼育されている一般的な環境条件があります。より高い収容密度で飼育されると、熱ストレスがバラ肉脂肪のヨウ素価を増加させます(図 4.14)。検証事例によると、発育の遅い病気の豚は、発育の速い健康な豚よりもヨウ素価が高いことが分かっています。これには、発育の遅い豚における” de novo脂肪酸合成” の減少が関連している可能性があります。

図 4.14 バラ肉の脂肪ヨウ素価に及ぼす熱ストレスの影響 (White et al., 2008)



4.2.3 脂肪の品質への栄養の影響

飼料成分は脂肪の品質改善に重要です。飼料中の脂肪源、脂肪源の含有レベルおよび脂肪の品質に影響を与える可能性のある飼料成分の評価する研究が多く行われています。

脂肪の供給源となる飼料成分を添加すると、2つの側面で脂肪の品質に影響を与えます。まず、脂肪レベルが増加すると、“de novo脂肪酸合成”（飽和脂肪酸）が減少します。第二に、飼料成分中の脂肪酸組成が、豚の脂脂肪酸組成に影響を与えます。これは、高度に不飽和の脂肪酸組成を持つ高脂肪食を与えると軟脂肪になり、より飽和度の高い脂肪酸組成を持つ低脂肪食を与えると硬い脂肪になることを意味します。

脂肪レベルを濃縮または増加させる乾燥蒸留穀物（DDGS）などの副産物は、その含有率が高すぎる場合または他の脂肪レベルの高い成分と組み合わせられた場合、脂肪の質に悪影響を与える可能性があります。脂肪成分（オイル、チョイスホワイトグリース、牛脂）を添加すると、特に飼料全体の脂肪レベルが増加した場合（つまり、他の脂肪源も追加された場合）、脂肪の質に悪影響を及ぼします。また、これらの脂肪源は異なる脂肪酸組成を持っているため（オイルは不飽和ですが、牛脂はより飽和しています）、飼料中に同じ割合でそれらを追加すると、それぞれ異なる効果が生まれます。

さらに、飼料の形状（ペレットかマッシュか）は脂肪の質に影響を与える可能性があります。研究によると、飼料をペレット化すると、バラ肉の脂肪ヨウ素価が1.3~3.1単位分増加する可能性があります（平均2.4単位の増加：表 4.5）。これは、ペレット化にするときの熱処理による脂肪消化率の増加により飼料中栄養素の利用可能性を改善することが要因であると考えられます。

表 4.5 バラ肉の脂肪ヨウ素価に及ぼす飼料形状の影響

研究	マッシュ	ペレット	差
Overholt et al., 2016	70.0	73.1	3.1
Nemecek et al., 2015	70.7	73.6	2.9
Nemecek et al., 2015	72.2	73.5	1.3
Matthews et al., 2014	69.2	71.6	2.4
平均差			2.4

共役リノール酸（CLA）、カポックオイル、Lipinate®（NutriQuest®、アイオワ州メーソンシティ）などのいくつかの添加物は、脂肪の締まりを改善させます。これらの製品の添加は飼料コストの増加となるため、脂肪の品質改善によるメリットとのバランスを取る必要があります。牛脂の一部には、脂肪の質を向上させることができる固有のCLAが含まれている場合があります。牛脂を飼料に加えると、脂肪の質が向上するか、少なくとも飼料のエネルギーレベルが増加することによる悪影響を減らすことができます。

ラクトパミンの添加は、脂肪の質に悪影響を与えることが示されています（表 4.6）。ラクトパミンの添加により、脂肪ヨウ素価は1.0~3.7 単位分に増加します（平均1.8単位分の増加）。ラクトパミンは枝肉の脂肪を減らし、高い赤肉レベルや脂肪割合の減少は脂肪の質と高い相関関係があるためと考えられています。

ほとんどの場合、脂肪の品質に対する栄養の影響は、飼料中の脂肪に関する脂肪生物学の一般原則の通りに変化します。飼料中の脂肪の割合が増えると、“de novo”脂肪酸合成がさらに阻害され、飽和脂肪が少なくなり、脂肪が柔らかくなります。飼料中の脂肪酸組成の飽和度が低く/柔らかくなるにつれて、枝肉脂肪は飽和度が低く/柔らかくなります。脂肪の品質を重視するときは、飼料成分の変化を評価して、脂肪の質に悪影響を与えていないかどうかを確認します。

表 4.6 異なる枝肉部位の脂肪ヨウ素価に対するラクトパミンの効果

研究	脂肪部位	ラクトパミン レベル	平均 日数	対照区	“Paylean” ラクトパミン	差
Apple et al., 2008	背脂肪	10 ppm	35 日	72.7	75.5	2.8
Graham et al., 2014	バラ	10 ppm	24 日	65.4	66.4	1.0
Graham et al., 2014	頬肉	10 ppm	24 日	65.4	66.4	1.0
Matthews et al., 2014	背脂肪	5 ppm	23 日	69.9	71.5	1.6
Matthews et al., 2014	バラ	5 ppm	23 日	69.8	71.0	1.2
Weber et al., 2006	背脂肪 ^a	10 ppm	28 日	62.5	67.6	3.7
Weber et al., 2006	バラ	10 ppm	28 日	59.0	60.2	1.2
平均差						1.8

^aインナー背脂肪とアウター背脂肪の平均

4.3 脂肪の品質の管理

飼料成分は、脂肪の質を管理する上で最も重要な要素です。非栄養的な要因も重要ですが、非栄養的要因に変更を加えることによる効果は比較的小さなものになる傾向があります。さらに、これらの変更を実践することが現実的ではないこともよくあります。ヨウ素価の最大差は、現在使用されている最新の遺伝子型内でヨウ素価約1.5単位分であるため、遺伝子系統の変更による調整は実用的ではありません。性別による差についても、より良い脂肪の品質を持つ製品を作るために雄豚肉豚の生産を止めたり、去勢豚だけを生産できるようなことがない限り、多くの場合にはそれにより脂肪の質を変更することはできません。

生産効率に悪影響を及ぼさない限りで、脂肪の増加が伴う場合には生体重を増加させることができます。豚の健康状態を良好に維持し、熱ストレスを与えないようにすることは、非栄養的な側面から脂肪の質を管理できる最も重要な要素です。

栄養の重要性は、飼料以外の要因による脂肪の質への影響に関する研究に比べて、飼料による影響に焦点を当てた研究がとても多いことによってよく示されています。脂肪の質を管理するための栄養的アプローチは、飼料配合や飼料形状、その他影響を与える特定の微量成分の添加という3つの主要要素によって実践されます。

4.3.1 脂肪の質を改善するための飼料成分

栄養学者は、特定の脂肪品質を達成できる飼料を配合するために多くの様々なアプローチを取りますが、最も一般的な2つとして、C18：2レベルに合わせた飼料配合とヨウ素価産物 (IVP) に基づく飼料配合があります。特定のC18：2レベルに合わせて調整を行うことは、一般的な原料が使用され、かつC18:2以外の多価不飽和脂肪酸レベルが大きく変更されていない場合に効果的です。ヨウ素価産物 (IVP) を活用した配合では、豚の飼料において一般的に含まれる一価不飽和および多価不飽和脂肪酸を評価します。

IVPIは、次の式によって計算されます： $IVP = (\text{飼料原料中の脂肪ヨウ素価}) \times (\text{飼料原料中の脂肪割合, \%}) \times 0.10$ 。表4.7には、飼料原料ごとのヨウ素価、脂肪割合(%)およびIVPが記載されています。表 4.8には、飼料への油脂添加のために使用される原料のヨウ素価、脂肪割合およびヨウ素価産物 (IVP) が記載されています。

表 4.7 一般的な飼料原料のヨウ素価、脂肪割合およびヨウ素産物 (IVP)

原料	ヨウ素価 ^a	脂肪割合 (%) ^a	IVP ^b
製パン所廃棄物	125	11.3	141.3
大麦	125	1.9	23.8
菜種かす	118	3.5	41.3
DDGS (穀類蒸留かす)	125	9.9	123.8
高たんぱく質 DDGS	125	3.4	42.5
トウモロコシ胚芽	125	17.5	218.8
コーングルテンミール	125	2.9	36.3
コーン	125	3.9	48.8
高油脂コーン	125	6.0	75.0
ひき割りトウモロコシ	125	6.7	83.8
肉骨粉	70	10.1	70.7
肉粉	70	11.2	78.4
キビ	135	3.5	47.3
オート麦	106	4.7	49.8
引き割りオート麦	106	6.2	65.7
エンドウ豆	135	1.2	16.2
ソルガム	116	2.9	33.6
大豆皮	130	2.2	28.6
大豆粕 47.5% 粗タンパク	130	3.0	39.0
大豆粕 46.5% 粗タンパク	130	3.0	39.0
大豆粕 44% 粗タンパク	130	1.5	19.5
全脂大豆	130	18.0	234.0
ひまわり種かす, 42% 粗タンパク	120	2.9	34.8
ライコムギ	87	1.8	15.7
ふすま	83	4.0	33.2
硬質冬小麦	83	2.0	16.6
中等小麦	83	4.2	34.9

^aヨウ素価レベルと脂肪レベル (%) は、National Swine Nutrition Guide2009の情報に基づいています。

^b次の式を使用して決定: (IV x 脂肪 (%) x 0.1)

表 4.8 飼料に添加される一般的な油脂のヨウ素価、脂肪割合およびヨウ素価産物（IVP）

飼料原料	ヨウ素価 ^a	脂肪割合 (%) ^a	IVP ^b
牛脂	44.0	99	435.6
なたね油	118.0	100	1180.0
ココナッツオイル ^c	8.0	99	79.2
チョイスホワイトグリス(豚脂)	60.0	99	594.0
コーンオイル	125.0	100	1250.0
ヤシ油 ^c	13.0	99	128.7
鶏脂	78.0	99	772.2
大豆レシチン ^c	97.0	100	970.0
大豆油	130.0	100	1300.0
ひまわり種油 ^c	114.0	100	1140.0

^a特に記載がない限り、ヨウ素価レベルと脂肪レベル(%)は、National Swine Nutrition Guide2009の情報に基づいています。

^b次の式を使用して決定：(IV x 脂肪割合(%) x 0.1)

^cヨウ素価はNRC (2012)の数値を使用

ヨウ素価産物に基づく配合をするには、配合ソフトウェアに脂肪源となる各原料のIVPの情報を入力し、IVPの栄養的基準レベルを設定します。その基準レベルは、目標とする枝肉脂肪のヨウ素価によって異なります。飼料のヨウ素価産物やC18：2レベル、DDGSのレベルに基づいて枝肉脂肪のヨウ素価を推定する計算モデルが開発されています。より複雑なモデルでは、必須脂肪酸、エネルギー濃度、給餌期間、体重、枝肉重量、1日の飼料摂取量、背脂肪の厚さなどの要素も考慮して計算されます(表 4.9)。

PIC社は、この資料内にあるすべての予測脂肪ヨウ素価に活用できる次の方程式：【予測脂肪ヨウ素価 = 52.4 + (0.315 x 飼料中ヨウ素価産物)】(Boyd et al., 1997)を作成しました。これらの方程式の多くは、開発の前提とされた群規模や環境条件の範囲内で正確さを維持できます。想定された条件外で使用すると、栄養成分の消化率、健康状態、環境条件、サンプリング方法または試験手順の違い、性別または枝肉の脂肪レベルによって正確さが変わってきます。

DDGSの油分や消化率が大きく変化する可能性があるため、これらの方程式の中で最も精度が低いのは、飼料中のDDGSのみを考慮する方程式です。また、全ての飼料にDDGSが含まれているわけでもありません。加えて、DDGSと同様に飼料へ影響を与える可能性のある他の原料が加わると濃度はさらに変わります。

図 4.15では、3つの大学で行われた各試験で使用された肥育後期飼料のIVPを比べています。この図は、飼料が同様のレベルのDDGSを使用しているにもかかわらず、IVPに影響を与える他の飼料成分との組合せの結果として、脂肪の品質への影響が異なる可能性があることを示しています。これは、DDGSのみを考慮する方程式を使用することの誤りの危険性を示しています。

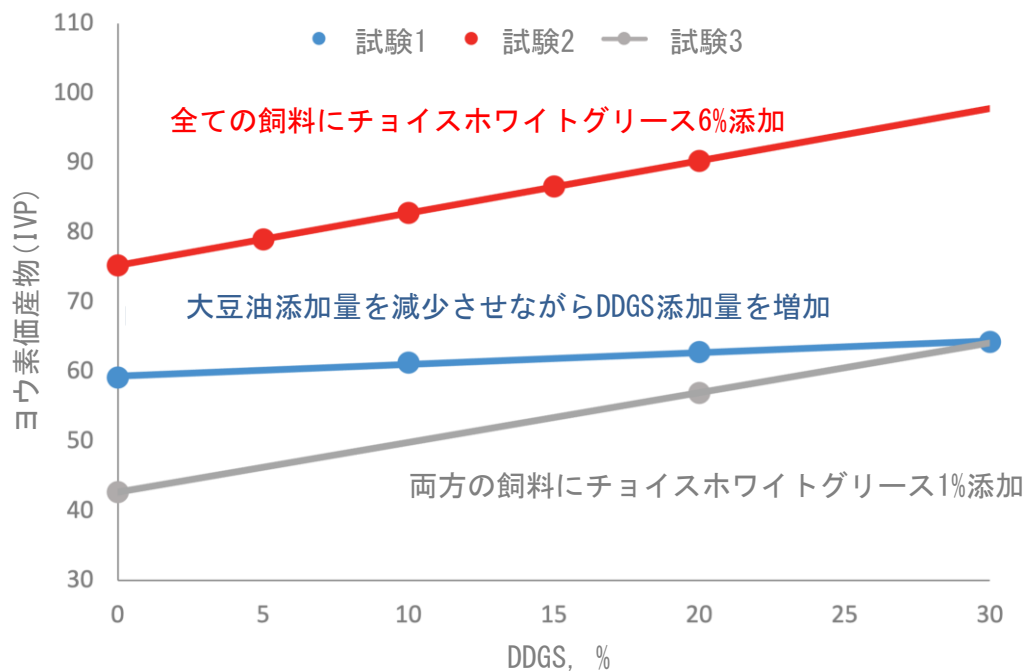
表 4.9 枝肉脂肪ヨウ素価を予測するための方程式

方程式の種類	参考文献	予測部位	方程式	R2
IVP	Madsen et al., 1992	背脂肪	$47.1 + 0.14 \times \text{IVP 食下量/日}$	0.86
IVP	Boyd et al., 1997	背脂肪	$52.4 + 0.315 \times \text{飼料のIVP}$	-
IVP	Benz et al., 2011	背脂肪	$51.946 + 0.2715 \times \text{飼料のIVP}$	0.16
IVP	Benz et al., 2011	頬肉脂肪	$56.479 + 0.247 \times \text{飼料のIVP}$	0.32
IVP	Estrada Restrepo, 2013	背脂肪	$60.13 + 0.27 \times \text{飼料のIVP}$	0.81
IVP	Estrada Restrepo, 2013	頬肉脂肪	$64.54 + 0.27 \times \text{飼料のIVP}$	0.81
IVP	Estrada Restrepo, 2013	バラ肉脂肪	$58.32 + 0.25 \times \text{飼料のIVP}$	0.74
IVP	Kellner, 2014	平均 ^a	$58.102 + 0.2149 \times \text{飼料のIVP}$	0.93
C18:2	Benz et al., 2011	背脂肪	$35.458 + 14.324 \times \text{飼料のC18:2, \%}$	0.73
C18:2	Benz et al., 2011	頬肉脂肪	$47.469 + 10.111 \times \text{飼料のC18:2, \%}$	0.90
C18:2	Kellner, 2014	平均 ^a	$58.566 + 0.1393 \times \text{C18:2 食下量/日, g}$	0.94
DDGS	Cromwell et al., 2011	背脂肪	$64.5 + 0.432 \times \text{飼料中DDGS, \%}$	0.92
DDGS	Estrada Restrepo, 2013	背脂肪	$70.06 + 0.29 \times \text{飼料中DDGS, \%}$	0.81
DDGS	Estrada Restrepo, 2013	頬肉脂肪	$72.99 + 0.24 \times \text{飼料中DDGS, \%}$	0.81
DDGS	Estrada Restrepo, 2013	バラ肉脂肪	$67.35 + 0.26 \times \text{飼料中DDGS, \%}$	0.75
混合	Paulk et al., 2015	背脂肪	$84.83 + (6.87 \times \text{I EFA}) - (3.90 \times \text{F EFA}) - (0.12 \times \text{I d}) - (1.30 \times \text{F d}) - (0.11 \times \text{I EFA} \times \text{F d}) + (0.048 \times \text{F EFA} \times \text{I d}) + (0.12 \times \text{F EFA} \times \text{F d}) - (0.0060 \times \text{F NE}) + (0.0005 \times \text{F NE} \times \text{F d}) - (0.26 \times \text{BF}) \text{ b}$	0.95
混合	Paulk et al., 2015	頬肉脂肪	$85.50 + (1.08 \times \text{I EFA}) + (0.87 \times \text{F EFA}) - (0.014 \times \text{I d}) - (0.050 \times \text{F d}) + (0.038 \times \text{I EFA} \times \text{I d}) + (0.054 \times \text{F EFA} \times \text{F d}) - (0.0066 \times \text{I NE}) + (0.071 \times \text{I BW}) - (2.19 \times \text{ADFI}) - (0.29 \times \text{BF}) \text{ b}$	0.93
混合	Paulk et al., 2015	バラ肉脂肪	$106.16 + (6.21 \times \text{I EFA}) - (1.50 \times \text{F d}) - (0.11 \times \text{I EFA} \times \text{F d}) - (0.012 \times \text{I NE}) + (0.00069 \times \text{I NE} \times \text{F d}) - (0.18 \times \text{HCW}) - (0.25 \times \text{BF}) \text{ b}$	0.94

^a平均 = 頬肉、ロース、バラ肉の脂肪の平均

^b方程式の構成要素は次の通り: I = 最初の飼料, F = 最後の飼料, d = 給餌日数, EFA = 必須脂肪酸 (C18:2及びC18:3; %), NE = 正味エネルギー (kcal/kg), BW = 体重 (kg), ADFI = 1日当り平均食下量 (kg), HCW = 温と体重量 (kg), BF = 背脂肪厚 (mm).

図 4.15 飼料成分の異なる各IVPに対するDDGS割合の影響



ヨウ素価産物 (IVP) は、枝肉ヨウ素価を完全に予測するわけではありませんが、重要な構成要素が体系的に評価・設定されている場合、優れたツールとなります。構成要素には次のものが含まれます：

- 飼料成分の一貫性
 - 成分は、比較的一貫したIVP (脂肪量と脂肪のヨウ素価) を持っているか、または新しいバッチの原料を受け取ったときには改めて分析を行う必要があります。
 - これは、DDGSなどの材料を使用する場合や新しい飼料サプライヤーを使う場合、新しい原料を使用する場合に特に重要です。
 - 飼料の脂肪量およびヨウ素価の測定には、同じラボを使用する必要があります。
- 枝肉脂肪ヨウ素価の推定にはひとつの方程式のみを一貫して使用します。
 - 方程式が、屠畜場の測定に使用した脂肪部位を予測していることを確認してください。
- 屠場からの継続的なフィードバックは不可欠です。
 - これらの方程式は完全に正確ではないため、屠場は定期的に枝肉脂肪ヨウ素価分析を提供して、IVPの配合値が適切かどうか、または調整する必要があるかどうかを判断する必要があります。
 - 屠場は、一貫した脂肪部位のヨウ素価を測定し、分析には一貫した方法を使用する必要があります。
 - サンプルは、性別の割合を同じにしておくか、常に同じ性別からサンプリングを行う必要があります。
 - 極端に軽い豚や重い豚からサンプルを採取することは避けた方が良いです。
- 枝肉脂肪ヨウ素価に影響を与える可能性のある栄養以外の環境要因に注意してください。これらには、健康上の問題や熱ストレスが含まれますが、これらに限定されません。
- データを分析します。
 - 統計学的手段によってデータをモニタリングします。
 - 頻繁に (毎週または毎月) モニタリングしてください。
 - これにより、IVPの変化を枝肉脂肪ヨウ素価の変化に反映していくことができます。
 - このアプローチは、最初の試行錯誤が必要ですが、蓄積されたデータは、特定の枝肉脂肪ヨウ素価を取得するために必要なIVPを調整する方法をより正確に示せるようになります。

4.3.2 脂肪の質を管理するための飼料形状と微量成分

先に述べたように、飼料をペレット化すると脂肪の質に悪影響を及ぼします。脂肪の質が問題である場合、それが経済的に可能であり、他の栄養的方法で改善できない場合は、マッシュ飼料を与えることを検討してください。ただし、マッシュ飼料に変更することによる発育パフォーマンスの低下に注意し、これが全体的な農場の利益にどのように影響するかも把握してください。

共役リノール酸 (CLA) や Lipinate® などの市販の添加物は、脂肪の質を改善するのに役立ちます。しかし、ほとんどの場合、そのコストの高さのため、大規模な使用はされていません。脂肪の質に関しては、ラクトバミンや他の添加材 (より赤肉の多い枝肉を作る) などの添加材の使用にも注意をしてください。これらの製品を使用するかどうかを決定する前に、これらの製品の使用による経済的影響をしっかりと評価してください。

※上記で紹介されている各添加物は日本での使用が許可されているとは限りません。

肉質に対する性別の影響



豚の性別は、赤肉と脂肪の両方の品質に影響を与える可能性があります。脂肪の品質への影響の一部はセクション4.2.2で説明されていますが、赤肉の品質への影響は前のセクションでは説明されていません。

過去の文献に基づいて肉質の性別の違いを判断することは、あまり試験がされていないか、その影響を判断するためのサンプル数が比較的少ないため困難です。サンプル数が大きい研究の多くでは、全体的な品質が低く（極限pH <5.5、ドリップロス > 5%）、性別間の有意差を判断するには有用性が低い可能性があります。しかし、PIC社の大規模な豚肉品質データベースに基づき、過去の文献とこれまでの業界との取り組みで得られた情報を組み合わせることで、性別による豚肉品質の違いについて何を期待できるかについて考えていきます。

現在、精液による雌雄の産み分けは技術的には可能ですが、実用性または経済性の観点からは現実的ではありません。したがって、基本的な生物学に基づけば、およそ50%の雄と50%の雌が生産されます。ただし、雄は雄のままであるかまたは去勢される可能性があります、ここで豚肉の品質を向上させることができます。養豚産業が進化し続ける一方で、多くの国が去勢の禁止またはその議論が進む中で、苦痛を与えない去勢方法の実践がますます検討されるようになっていきます。これは、豚肉の品質にも影響を与える可能性があります。このセクションでは、これら性別ごとの違いについて説明します。

5.1 去勢、雌、雄の赤肉品質の違い

過去の文献によると、去勢と雌における赤肉品質の違いに関する報告はあまり一貫していません。多くの報告によると、雌の肉色はわずかに暗く、去勢は筋肉内脂肪のレベルが高くなることには一貫性が見られますが、極限pH、保水能力(ドリップロス)、およびせん断力(柔らかさ)への反応には一貫性がありません。

PIC社には数千頭の豚から得られた品質の高いデータがあるため、豚肉の品質に対する性別の影響を分析できます(表 5.1)。そのデータによると、L*、a*およびb*の値が、雌の方が低かった(暗く、赤色と黄色が少ない)ことが分かります。主観的な色と締まりのスコアは、去勢と雌の間で違いはありませんでした。去勢は、極限pHとマーブリングスコアが高く、ドリップロスとワーナーブラッツラーによるせん断力(WBS)の値が低くなっています。このデータでは、平均して、去勢のロースは、雌のロースよりもわずかに良い食味に関わる品質を持っていることを示唆しています。

表 5.1 去勢と雌の豚肉品質特性の違い

形質	去勢	雌	優位差	サンプル数 (去勢/雌)
pH	5.74 ^a	5.72 ^b	去勢 (0.02 高い)	12,817/13,167
JCS	3.18	3.19	なし	12,797/13,140
L*	47.21 ^a	46.51 ^b	雌 (0.7 低い)	12,731/13,032
a*	8.54 ^c	8.49 ^d	去勢 (0.05 高い)	12,731/13,032
b*	2.34 ^a	2.05 ^b	雌 (0.29 低い)	12,731/13,032
マーブリング	2.42 ^a	2.12 ^b	去勢 (0.30% 高い)	12,065/12,523
締まり	3.19	3.18	なし	9,257/9,863
ドリップロス	2.49 ^a	2.61 ^b	去勢 (0.12% 低い)	7,108/7,795
WBS	3.26 ^a	3.50 ^b	去勢 (0.24 kg 低い)	3,435/3,344

^{ab}異なる文字が付いている値の間には有意差があった (P<0.0001)。

^{cd}異なる文字が付いている値の間には有意差があった (P<0.005)。

雄と去勢を比較した大規模データは、見つけるのがさらに困難です。” Pauly et al., (2012)” は、雄を外科的去勢豚および免疫学的去勢豚と比較したメタアナリシス研究を実施しました。この研究では、雄の極限pHは低く、マーブリングが少なく、せん断力が高く、L*値が高くなりました。他の形質は影響を受けませんでした。

ほとんどの研究では、食味に関する品質の高さは、外科的去勢>雌>雄の順(ロースの場合)であり、免疫学的去勢は外科的去勢と雌の間のどこかに位置づけられると考えられています。これは、去勢からの雄の屠畜へと移行した屠場から聞いた報告の内容とも一致します。これらの屠場は、小売業者からのドリップロスのクレームが多く、枝肉収縮の問題(温屠体重量と冷屠体重量の差)も観察されていることも分かっています。雄または免疫学的去勢の豚のみが流通される一部の市場では、雌の肉がプレミアム付き販売されることもあります。

5.2 去勢、雌、雄の脂肪の品質の違い

セクション4.2.2で前述したように、雄はヨウ素価が最も高く（最も脂肪が柔らかい）、次に雌が続きます。去勢のヨウ素価が最も低く（最も脂肪の締まりが良い）、免疫学的去勢された雄のレベルは雌ブタと同様でした（図4.10）。

脂肪の締まりは脂肪の量と一致します。雄の脂肪量は最も少なく、次に雌が続き、去勢の脂肪量が最も高くなります。去勢から雄の生産に移行する前に、脂肪量と締まりの変化の影響を理解することが重要です。これは、一部製品の脂肪品質に影響を与える可能性があるためです。

雄は、多くの地域で脂肪の質の問題が認識されていない状態で飼育されることがありますが、去勢の生産から雄の生産に移行するとき、この問題がどの地域でも発生しているわけではありません。地域によっては、雄の脂肪量と締まりを高める方法を確認しています。一部の屠場では、脂肪品質への影響は雄臭よりも対処が難しい場合もあります。製品構成や個々の市場に応じて、雄の生産に完全に移行する前に、脂肪への影響を良く評価する必要があります。

5.3 雄臭

豚の雄臭は主に、豚の脂肪に含まれるアンドロステノンとスカトールによって引き起こされます。インドールはまた、雄臭に関連付けられています。アンドロステノンとスカトールは調理中に放出され、不快な臭いを引き起こします。去勢されていない雄は、アンドロステノンとスカトールのレベルが高く、雄臭の発生率も高くなります。雄臭は、雌豚や去勢豚の一部にも見られます。

すべての人が雄臭に敏感なわけではありません。女性は男性よりも雄臭に敏感です。1970年代と1980年代の調査によると、アンドロステノンは女性の90%、男性の50%が知覚することができますが、スカトールはすべての人が検出できます。USDAによる最近の調査では、人口の30%以上が雄臭を知覚できることを示唆しています。

一定の閾値（アンドロステノン(> 0.5–1.0 mg / kg)およびスカトール(0.20–0.25 mg / kg)）に基づくと、雄豚の約20%が雄臭を持っていることになります。ただし、この関係は変化することがあります。これらレベルより低い豚でも雄臭を示す可能性はあり、高いレベルの豚でも雄臭を示さないことがあります。人間の鼻のスコアに基づく報告では、雄の約4%のみが検出可能なレベルの雄臭を示すことが示唆されています。

発生率が低い問題ではありますが、豚の雄臭は、豚肉の食味を低下させ、好ましい動物性タンパク質である豚肉の好感度を低下させる可能性があるため、その管理が重要です。これは、雄の生産が一般的に行われておらず、雄臭の問題の発生が歴史的に少なかった地域では特に重要です。雄臭の問題は、遺伝子、農場生産管理、および屠場での管理の3つの主要分野で管理できます。

5.3.1 雄臭に対する遺伝的管理

アンドロステノンとスカトールのレベルは、異なる遺伝系統間で調査されており、違いが存在します。Frieden et al., 2011は、文献内の品種比較研究をレビューし、デュロックが最高レベルのアンドロステノン(脂肪1g当り3.27 μ g)を持っていることを発見しました。ピエトレン(およびピエトレン交雑)のアンドロステノンのレベルは、脂肪1g当り0.54~2.40 μ gの範囲で変化しました。ラージホワイトとランドレースのアンドロステノンレベルは比較的低く、脂肪1g当り0.44~1.19 μ gの範囲でした。

さらに、アンドロステノンの遺伝率の推定値は0.50から0.75(高レベル)の範囲です。スカトールの推定値は0.23~0.56(中程度から高レベル)の範囲です。これらの発見は、アンドロステノンとスカトールが雄臭レベルを管理するための選抜基準としても機能できることを示唆しています。

2015年、ドイツのWarentest氏は、豚の雄臭(アンドロステノンとスカトールのレベル)を管理するための選抜がされた2品種の雄の子孫は、選抜を経ていない雄の雄臭と比較して、雄の雄臭を減少させたことを明らかにしました(2.35% vs. 4.4%)。ただし、多くの要因が雄臭に影響を与えるため、遺伝子が単一の解決策である可能性は低いです。

5.3.2 雄臭に対する農場の生産管理

豚の雄臭の発生を減らすことを目的として、多くの農場要因を管理することができます。最も簡単な信頼性の高い管理方法は、雄の去勢です。これにより、雄臭発生のリスクが事実上なくなります。

しかし、多くの国や地域では、外科的去勢は受け入れられていないか、雄は去勢よりも発育パフォーマンスのメリットをがあるという点から雄を飼育しています。多くの生産者では、外科的な去勢の代わりに雄臭の発生を抑制しながら、雄の発育性も維持できる免疫学的去勢の方法を採用しています。それでも、雄臭の発生のリスクをさらに軽減するため、雄を生産している農場の多くで他の管理方法を採用することができます。

いくつかの研究は、アンドロステノンのレベルは、体重が増加するにつれて増加し、スカトールは性成熟の開始とともに増加することが分かっています。多くの国では、雄は100 kg(220ポンド)以下の生体重で屠畜するのが一般的です。一部地域では、雄臭の発生を最小限に抑えるために、屠畜する雄の最大日齢が定められています。しかし、一部の研究では、体重や年齢による違いは観察されなかったというものもあります。これは、性成熟の開始時の年齢や体重の違い、またはその他の交絡因子が影響している可能性があります。

背脂肪の厚さも雄臭に影響を及ぼし、背脂肪が増加するにつれて発生率が増加します(図5.1)。これは、品種間の違いや体重と年齢が関係していることの信頼性を支えるものといえます。

研究の多くは、豚の雄臭を軽減するために農場内の環境要因に焦点をあてています。豚の雄臭(スカトール)のレベルを下げるには、豚を清潔に保つことが重要です。汚れた(尿や糞便で汚れた)囲いに入れられた豚は、雄臭の発生率が高くなります。土間床またはスノコ面積が少ない床に飼育されている豚は、ペンを比較的清潔に保つことができるスノコ幅で飼育されている豚よりも雄臭の発生率が高くなります。飼育密度が高いと、雄臭の発生率も高くなります。温度も雄臭のレベルに影響を与える可能性があります。スカトールレベルは通常、暖かい夏の数ヶ月の間に高くなります。

ある研究では、生産システム内の社会的側面の影響も調査しましたが、それが豚肉の雄臭のレベルにどのように影響するかについて明確な結論はまだありません。雄雌混合と雄雌分けの生産を比較した最近の研究は、混合生産が雄臭の観点からは、わずかに優れている可能性があることを示しています。豚を混ぜたり分けることによるヒエラルキーの確立および/または再確立も、アンドロステノンレベルを上げ、雄臭に悪影響を与える可能性があります。

栄養は、雄臭の減少、特にスカトールの減少に重要な役割を果たします。豚の雄臭の発生率を減らすために飼料成分を調整します。より低いレベルのトリプトファンを与えることや食物繊維レベルと種類を調整すること、有機酸を加えることは、スカトールレベルを減らすことが報告されています。多くの生産者では、チコリ（キク科の多年生野菜）のような非消化性炭水化物を追加していて、これには雄臭の改善効果があることが示されています。

乾燥飼料よりもリキッド飼料を使うことや適切な給餌スペースを維持することもスカトールレベルを下げることに繋がります。飽食給餌は、同じ日齢で屠畜された制限給餌の豚と比較した場合、スカトールレベルを増加させることが報告されていますが、同じ体重で屠畜された場合はそうではありません。

様々な生産管理が雄臭に影響を与える可能性があることは明らかであり、これらの要因の多くは相互に関連しています。これらの要因（去勢以外）に対処しても雄臭を完全に排除することはできませんが、雄臭が豚肉の品質に影響を与えるリスクを減らすことができます。

5.3.3 雄臭に対する屠場における管理

多くの場合、屠場での管理は、雄臭の発生を軽減するのではなく、雄臭のある豚を特定することにあります。限られた管理方法には、衛生と隔離の2つが挙げられます。係留ペンは可能な限り清潔に保つ必要があります。また、雄臭への潜在的な影響を最小限に抑えるために、知らない豚を同じペんに混ぜることは避けてください。

雄が屠場に到着したら、雄臭のある豚（枝肉）を特定することが最優先事項です。枝肉をまず雄臭で識別すると、通常のラインから取り除き、乳化タイプのソーセージへの使用やソーセージ製品製造による臭いの希釈、臭いのマスキングやスモッキングなどにより、雄臭のついた豚肉の悪影響を軽減することができます。

ライン上の雄臭を検出する主観的な方法の1つは、はんだごてテストです。これは首の脂肪に熱い鉄（はんだごて）を当てます。訓練を受けた人間は、脂肪の匂いを嗅ぎ、雄臭の存在と程度を判断することができます。

5.4 免疫学的去勢

免疫学的去勢（IC）は、雄臭のリスクを軽減する方法として前に触れました。免疫学的去勢とは、免疫のように機能するタンパク質化合物を注射し、ゴナドトロピン放出因子ホルモン（GnRF）に対する抗体産生を誘導することです。これにより、豚の性的発達が抑制されます。

免疫学的去勢には2回の注射が必要です。最初の注射は、免疫系を準備する9週齢経過時に投与されます。2回目の投与は、1回目の投与から少なくとも4週間後に行われます。この投与は、精巣の発達を抑制し、アンドロステノンとスカトールのレベルを低下させる免疫応答を刺激します。

投与後の決められた出荷期間外では雄臭が発生するリスクがあるため、豚は2回目の投与から3週間経過前または10週間以上経過後に出荷されるべきではありません。2回目の投与後は、効果が現れて体がホルモンを取り除くまでに時間がかかります。さらに、効果は時間の経過とともに減少します。

雄に適切に注射が投与されれば、免疫学的去勢は雄臭を取り除くのに非常に効果的です。1回の注射が欠けると、GnRFに対して効果的に免疫されないリスクが発生します。各雄が2回の注射を確実に受けられるようにするには、適切な投与プロトコルを準備することが不可欠です。



適切に投与されていることを屠場の処理ライン上で確認する方法の1つは、精巣の大きさを見ることです。適切に投与された雄では、睪丸が完全には発達しません。 精巣が完全に発達している雄は、雄臭が付いていないかよく確認する必要があります。

免疫学的去勢は豚の性的発達を抑制するものであるため、研究者は、雌における免疫学的去勢の効果も調査しました。 これは雄臭を制御するための研究ではありませんが、好まれる製品に合うように一部地域では、雌の肉豚生産を管理するための手段にもなっています。

免疫学的去勢を受けた雌肉豚の生産は、イベリコ豚を生産するスペインから主に始まりました。 伝統的に、イベリコ豚は、屋外で重い体重(150 kg / 330ポンド)まで飼育されるため、雌豚が妊娠してしまうのを防ぐために、外科的に去勢がされてきました。免疫学的去勢が使用されるようになったことで、外科的去勢の必要性が効果的に排除され、その市場の生産性および枝肉価値の改善を可能にしました。免疫学的去勢された雌はより速く発育し、高価値製品としてより早く出荷することが可能になります。免疫学的去勢された豚はより脂肪が付きやすくなりますが、これはイベリア豚の市場ではより望ましいことです。

免疫学的去勢の使用がより評価されるようになり、従来の肉豚でも使用されるようになりました。現在、多くの地域で生体重が増加しているため、雌も性成熟し、出荷前に発情を示すようになります。これは発育を遅らせ、豚舎の回転率を悪くします。

これらの事情において、多くの生産者は、免疫学的去勢された雌豚の利点にも注目するようになっています。その発育性は、雄または去勢豚の発育に似ていて、これにより豚舎をより早く空にすることができます。これは、肥育スペースに限りがある場合により重要です。 また、雌では、より脂肪が付き、脂肪の質(締まり)も良くなるため、そのバラ肉がベーコンの製造により適するようになります。

上記より、免疫学的去勢は、肉豚の雄と雌を生産するために有効なツールになり得ます。ただし、免疫学的去勢の活用は、実施することが現実的かつ合法であるかどうか、さらに生産者に本当に経済的にメリットがあるかどうかをケースバイケースで評価する必要があります。

最後に

PIC社は、世界中の様々な豚肉サプライチェーンで重要な役割を果たしていることを誇りに思っています。私たちは、遺伝改良プログラムと密接に関連した技術サービスを通じて、業界の成功に全力で取り組んでいます。

PIC社の食肉科学チームのサービスは、屠場における豚肉品質保証を目的にしたより実践的な支援を中心としています。これらのサービスは、屠畜前の豚の取り扱いからスタンニングまで、枝肉の冷却から豚肉の品質評価に至るまで、豚肉の品質に影響を与える日常的な管理に関する広範な分野をカバーしています。

また、PIC社では、PIC®PorkQualityCompass™を開発しました。これは、屠場のパフォーマンスを決定し、豚肉の品質を客観的に調べることができる、独自の豚肉品質ベンチマークプログラムです。このベンチマークプログラムでは：

- (1) すべての屠場で利用可能な標準化された測定値による豚肉の品質を評価するシステムを提供します。
- (2) 改善すべき領域を特定するサポートをします。(3) 豚肉加工会社が、自社の豚肉品質を国内または世界の品質と比較するための参考資料を提供します。

また、PIC雄ライン由来肉豚専用の枝肉価値査定ツールも開発しました。これは、枝肉重量ごとに推測されるプライマルおよびサブプライマルの重量分布データを利用して、販売用のポークカットの最適な組み合わせを検討し、加工業者の潜在的な利益を高めることにつながります。

コメントや質問については、PIC社の食肉科学チームにお問い合わせください。

※ PIC®PorkQualityCompass™とPIC雄ライン由来肉豚専用の枝肉価値査定ツールは、日本では使用されていません。

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. Frobose, 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. Tuytens, 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-Schwering, J. W. van Riel, H. M. Snoek, A. de Smet, G.M.L. Tacken, N. I. Valeeva, C.P.A. van Wagenberg. 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 (Improvast) 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 smorrets og flaeskets 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).
- 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. Siggers, 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. Kowalczyk-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
- 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-Loneragan, 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. Glamoclija, 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.
- Loneragan, 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 pHu 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. Kadowaki, 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 extrac表 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. Mordent. 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



Never
Stop
Improving

PIC North America

100 Bluegrass Commons Blvd. | Suite 2200 | Hendersonville, TN 37075 | 800-325-3398 | www.PIC.com