



Never
Stop
Improving

PIC® NUTRITION AND FEEDING GUIDELINES

2025

日本語版

PIC®

栄養ガイドラインへようこそ



最新の PIC 栄養ガイドラインを発表できることを喜ばしく思います。本ガイドラインにおける推奨事項は、一般公開されている研究結果、PIC 内の調査、大学や大規模コマーシャル農場における実験結果に基づいています。

本ガイドラインは、4 つのパートから構成されており、PIC が推奨する栄養や給餌に関する基本的な考え方を説明しています。

1. 飼料配合に関する PIC の理論と原則のまとめ
2. 様々な栄養的構成要素がどのようにしてそれらの原則を満たすのか
3. 生産ステージごとの基本的な栄養プログラムに関する説明
4. PIC®社の豚のために最適な給餌プログラムを作成するための栄養規格表

本ガイドラインは、地理的条件、生産規模、豚舎設備・器材に関係なく、世界中で利用できるように開発されました。栄養規格表はコマーシャル農場の環境下で検証されたものであり、世界中の栄養担当者により査読が行われています。ただし、各国政府の定めるアニマルウェルフェアに関する管理方法や基準には必ず従うようにしてください。

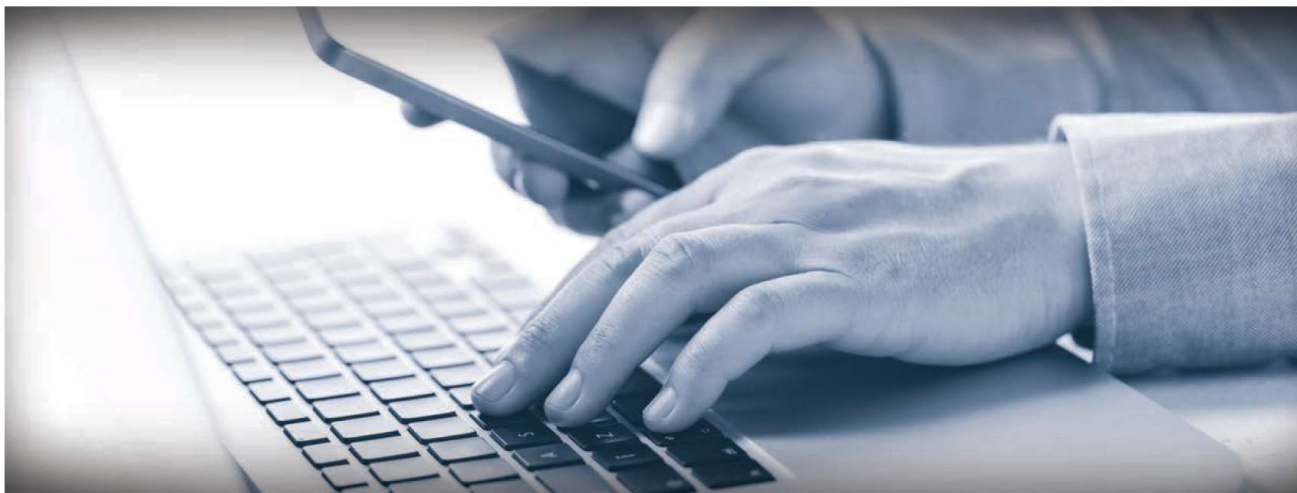
本ガイドラインが皆様の農場における成功や改善のお役に立つことを願っております。ご不明な点がございましたら、いつでもイワタニ・ケンボローの担当者にお問い合わせください。

セクション A : 飼料配合の原則と意思決定.....	5
飼料配合の順序.....	6
出荷日齢固定、出荷体重固定の経済的影響.....	6
飼料配合に対する戦略.....	7
飼料費差引利益 (IOFC)	10
総費用差引利益 (IOTC)	10
季節に合わせた飼料配合.....	11
セクション B : エネルギー.....	12
原料のエネルギー量の重要性.....	14
育成・肥育豚飼料におけるエネルギー反応.....	16
適切なエネルギーに対する経済モデル.....	18
セクション C : タンパク質及びアミノ酸.....	19
必須アミノ酸と非必須アミノ酸.....	20
アミノ酸必要量の記載方法.....	20
アミノ酸割合.....	21
育成・肥育豚のアミノ酸の要求量に関する新たな知見.....	21
適切な SID リジン割合における生物学的モデルと経済学的モデル.....	23
セクション D : マクロミネラル.....	24
カルシウムとリン.....	25
ナトリウムと塩素の要求量.....	27
最適なリンレベルにするためのバイオロジカルモデルとエコノミックモデル.....	27
セクション E : 微量ミネラルおよびビタミン.....	28
微量元素.....	29
ビタミン.....	30
セクション F : 生殖能力のある雄豚.....	32
雄の給餌.....	33
検疫時と稼働時の雄への給餌.....	35
PIC 雄豚給餌プログラムを成功に導くための注意点.....	37
PIC 種雄豚の給餌リソース.....	38
セクション G : 育成候補豚.....	40
候補豚育成に関する目標.....	41
候補豚の給餌管理に関する推奨事項.....	41
セクション H : 妊娠期の初産豚及び経産豚.....	43
母豚のボディコンディション管理.....	45
妊娠前期の給餌管理.....	53
妊娠後期の給餌管理.....	54
分娩前の給餌管理.....	59
PIC 母豚のためのダイナミックフィーディングプログラム.....	59

セクション I：授乳期の母豚	60
給餌プログラム	61
授乳期の食下量に影響を与える要素	62
アミノ酸の必要量	62
PIC 母豚のためのダイナミックフィーディングプログラム	67
セクション J：離乳母豚	68
発情再起期間中の給餌管理	69
セクション K：離乳仔豚	72
離乳仔豚	73
フェイズフィーディング	73
第 1 フェイズ 離乳～7.5kg	74
第 2 フェイズ 7.5～11.5kg	74
第 3 フェイズ 11.5～22.5kg	74
その他の考慮事項	75
セクション L：育成・肥育豚	76
育成・肥育飼料の設計	77
フェイズフィーディング	78
PIC のカロリー効率調整カルキュレーター	78
セクション M：栄養規格表	79
セクション N：特殊な条件にあわせた PIC の豚の給餌	80
セクション O：参考文献	81
セクション U：謝辞	90

セクション A

飼料配合の原則と意思決定



PIC の遺伝子は、豚肉のバリューチェーンにおいて利益を最大限に引き出せるよう経済性に関するすべての形質に焦点をおいて選抜が行われています。PIC の種豚が持つ遺伝的能力を発揮させるためには、適切な栄養プログラムが必要となります。飼料配合の原則を理解すると、飼料配合に対し複数の戦略をとることができます。世界各地の農場では一般的に、豚のパフォーマンスの最大化、生産費の最小化および収益性を最大化のバランスを見ながら飼料設計を行います。PIC は、世界中のお客様が生産者として成功するようサポートしていくことを目指しています。飼料は生産コストの大部分を占めており、PIC では、各農場の栄養プログラムを最適なものとするため、ポイントとなる飼料設計の原則をお伝えすることを目標としています。

- 生産スペースが限られている場合、豚価が高い時期には平均 1 日増体量(ADG)が、より重要な要素となります。
- 高い収益性が見込まれる時期(米国における夏場等)には、出荷体重を上げる戦略をとります。
- アミノ酸レベルが不十分の場合、エネルギーに対する豚の反応を制限してしまう恐れがあります。
- 飼料費差引利益は、給餌プログラムを評価する正確な方法の 1 つとして挙げられます。

飼料配合の順序

飼料配合の第一段階は、SID(標準回腸可消化)リジン(Lys)：カロリー比を決定することです。第二段階は、最も経済的な正味エネルギー(NE)レベルを定義することです。エネルギーがコストの大部分を占めているにもかかわらず第二段階である理由としては、SID Lys が適切に給餌されていない限り、豚は与えたエネルギーに対して能力を完全には発揮しない可能性があるためです。第三段階は、その他の SID アミノ酸(AA)を SID Lys に対する比として定義します。最後に、各栄養素の推奨値を満たすようマクロミネラル、微量元素、およびビタミンレベルを定義します。

出荷日齢固定、出荷体重固定の経済的影響

各農場において飼料配合ときに考慮すべき主要な概念は、豚の出荷を出荷日齢固定ベースまたは出荷体重固定ベースのいずれかで行われているかを理解することです。

- 「固定出荷日齢」は、生産フローの中に余分またはフレキシブルなスペースがないような場合を意味します。例えば、肥育豚舎に移動後 120 日経過すると、たとえ目標の出荷体重に達していなくてもそれらの豚を出荷し、次のグループが入るために豚舎を空にします。
- 「固定出荷体重」は、生産フローの中にフレキシブルなスペースが使える状態でいくつかわること場合を意味します。枝肉の価値に応じて最適な出荷体重になるまで豚を豚舎に置いておくことが可能です。

固定出荷日齢と固定出荷体重では、発育性の重要性が異なるため、この違いを理解することは大切です。豚価が高いとき、固定出荷日齢のシステムでは出荷日齢に縛りがあるため、増体はより重要です。しかし、固定出荷体重のシステムでは、固定の飼養面積コスト(豚 1 頭 1 日当り 0.11 ドル※米国基準)で、最適な出荷体重になるまで豚を豚舎に残すことができ、栄養学的観点または生産管理上の観点での増体の価値は、固定出荷日齢の場合と比べると小さくなります。この場合では、飼養面積コストが、栄養的または生産管理的アプローチにかかるコストよりも低いことが想定されます。農場によっては、発育速度が速い冬には固定出荷体重、豚の発育速度が遅い夏には固定出荷日齢とすることも多いです。二つのシナリオがあることは、経済的な最適化には様々な条件あることを意味し、これらのシナリオは、飼料配合の経済的な影響を評価するうえでも役立ちます。

日齢固定プログラムにおける、収益性を最大化するための最適栄養水準を、体重固定シナリオと比較して図 A1 に示しました。トリプトファン(Trp)：Lys 比は発育性に有意な影響を及ぼす可能性があります。このシナリオでは、Trp：Lys 比の変化は、固定出荷体重のシステムよりも固定出荷日齢のシステムにおいて大きな影響を及ぼします。これは単純に、豚の増体というものが、固定出荷日齢のシステムにおいてより経済的価値が大きいからです。Trp：Lys 比に関する詳細については、下記 URL のツールをご参照ください。各農場で個別に最も経済的な Trp：Lys 比を算出するためのダイナミック経済性計算ツールを無料でダウンロードできます。 <https://www.asi.k-state.edu/research-and-extension/swine/calculators.html> (※英語ウェブサイトです)

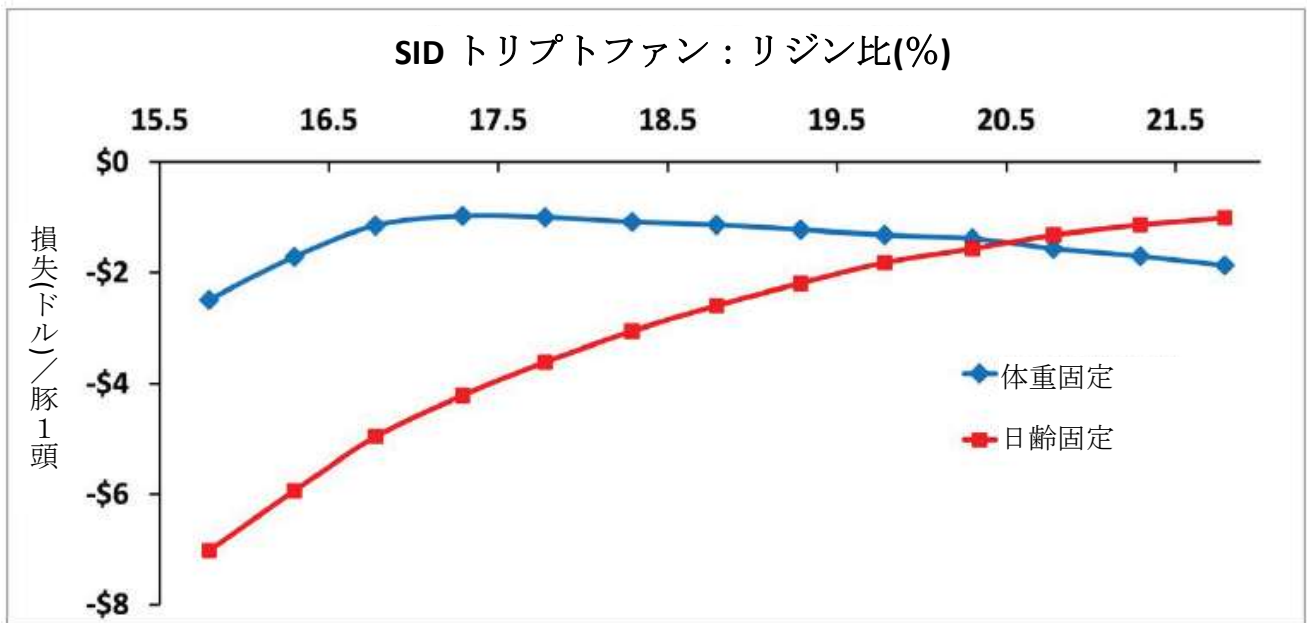


図 A1. 日齢固定および体重固定における最大利益のための SID トリプトファン：リジン比(PIC 337 × 1050; カンザス州立大学および味の素ハートランドの共同研究、2016)

飼料配合に対する戦略

飼料配合には複数の戦略が用いられます。一般的に、生産システムでは以下の要素のバランスを調整して決定します。

- パフォーマンスの最大化
 - 平均 1 日増体量(ADG)
 - 飼料要求率(F/G)
- 生産コストの最小化
 - 増体に対する飼料費
- 収益性の最大化
 - 飼料費差引利益(IOFC)
 - 飼料費および設備費差引利益(IOFFC)
 - 総費用差引利益(IOTC)

これらの配合戦略の概要を図 A2 に要約しました。これらの結果は、上記の異なる戦略を最適化するための SID リジン値を示します。こちらの例では、収益を最大限得るための SID リジンレベルはコストを最小限に抑えるレベルよりも大きくなります。経済的に最適な SID リジンのレベルは変動し、飼料原料や豚価により左右されます。

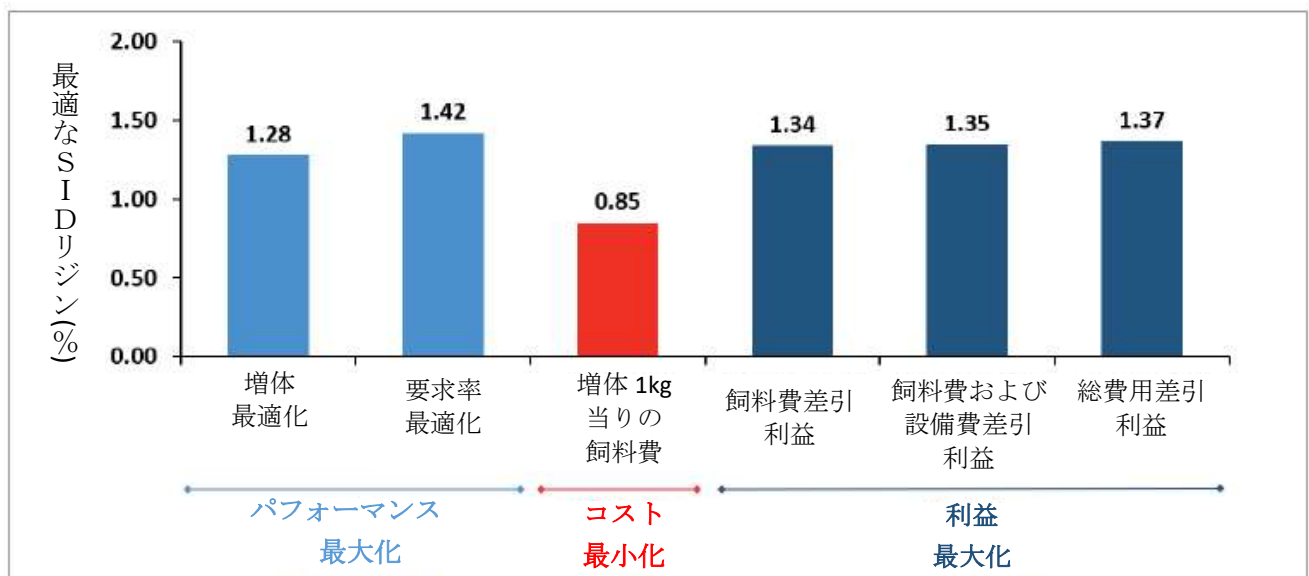


図 A2. PIC 豚(11.5～22.5kg の豚、PIC 内部データ)に対し、それぞれの結果を最適化するための SID リジン値の例

最大パフォーマンスのための飼料配合

パフォーマンスを最大化するために設定した栄養素のレベルです。ここでは経済的利益は考慮していません。ADG を最大化するために必要な SID リジンレベルは、最適な飼料要求率となるようにする場合よりも低いといった例にも挙げられるように、最適な栄養素のレベルは条件により異なる可能性もあります。

最小費用のための配合

増体 1kg 当りの飼料費は、飼料要求率および 1kg 当りの飼料費の積で求められるため、飼料要求率を考慮した数値となっています。しかしこのアプローチは、ADG、枝肉の価値、豚価、または豚舎の超過日数の変化を考慮していません。

$$\text{増体 1kg 当りの飼料費} = (\text{飼料要求率} \times \text{飼料 1kg 当りの\$})$$

最大利益のための配合

利益を最大にするための飼料配合では、様々な状況下における経済的な影響や望ましいパフォーマンスを発揮するために必要な栄養素と飼料費のバランスを考慮しています。

飼料費差引利益 (IOFC) は、日齢固定シナリオ下で、市場価格および豚の増体を重視します。

$$\text{IOFC} = (\text{生体重 1kg 当りの市場価格} \times \text{体重増加}) - (\text{1kg 増加当りの飼料費} \times \text{体重増加})$$

飼料費および設備費差引利益 (IOFFC) は、IOFC の式に設備費を追加し、固定体重のシナリオの場合により適しています。

$$\text{IOFFC} = (\text{生体重 1kg 当りの市場価格} \times \text{体重増加}) - (\text{1kg 増加当りの飼料費} \times \text{体重増加}) - (\text{豚 1 頭空間当りの費用} \times \text{期間中の飼養日数})$$

一般的に、飼料費および設備費は生産コストの大部分を占めており、その他の費用は固定費と見なされるため、IOFC は利益と高い関係性にあります。そのため、IOFC または IOFFC は、収益性への影響を判断する最適な指標であると考えられます。

すべてを総合して検討する

増体 1kg 当りの飼料費単独で換算すると、一般的に低価格飼料を使用するという結論に至ります。しかし多くの場合、これは純利益最大化のための正しい決断であるとは言えません。総費用差引利益(IOTC)は、追加的に重量が大きくなったときに費用が薄まる効果も考慮します。例えば、離乳子豚の費用が\$40 であるとします。つまり、農場において、離乳から出荷までの増体量が 121 kg であったとき、増体 1 kg 当りの離乳子豚の仕入費用は\$0.3306($\$40 \div 121\text{kg} = \0.3306)となります。しかし、栄養学的または生産管理的アプローチによって増体量が 123 kg に達した場合、増体量 1 kg 当りの離乳子豚の仕入費用は\$0.3252 となり、費用全体において 1.6%削減になります。

生産生体重 1 kg 当りの総費用差引利益(IOTC_L)の計算法：

$$\text{IOTC}_L = [(\text{生体 1 kg 当りの市場価格} \times \text{出荷体重}) - (\text{豚 1 頭当りの飼料費} + \text{豚 1 頭当りのその他の費用} + \text{育成豚費用})]$$

または、生産枝肉重量 1 kg 当りの総費用差引利益(IOTC_C)の計算法：

$$\text{IOTC}_C = [(\text{枝肉 1 kg 当りの市場価格} \times \text{出荷体重} \times \% \text{歩留}) - (\text{豚 1 頭当りの飼料費} + \text{豚 1 頭当りのその他の費用} + \text{育成豚費用})]$$

表 A1 の想定値は 2 つのシナリオを表しています。1 つは脂肪無添加の場合、もう 1 つは 3%脂肪添加した場合のシナリオです。

表 A1. 1 頭当りのコストを最小化した場合と利益を最大化した場合の比較に関するシナリオと想定

想定	シナリオ 1	シナリオ 2 ^a
	日齢固定/脂肪無添加飼料	日齢固定/3%脂肪添加飼料
ADG(kg)	0.816	0.841
飼料要求率	2.800	2.632
給餌日数	112	112
飼料費(\$/kg) ^b	0.230	0.245

^a 添加脂肪 1%ごとに増体が 1%、飼料要求率が 2%改善することを想定。この反応は農場ごと、および季節ごとに異なる場合があります。

^b 大豆粕、トウモロコシおよびチョイスホワイトグリース(choice white grease)想定費用は、それぞれ\$389/トン、\$0.14kg/kg および\$0.68/kg です。

摂取飼料コストとパフォーマンスの差をより正確に反映するため、飼料費には材料費のみならず製造費および配送費も含めるべきです。

シナリオ 1(Sc1 ; 脂肪無添加)

体重増加 = 112 日 x 0.816 ADG = 育成・肥育にて 91.4 kg 増加

増体 1kg 当りの飼料費 = 飼料要求率 2.80 x 1kg 当りの飼料費\$0.230 = \$0.644

豚 1 頭当りの飼料費 = 91.4 kg 増加 x 飼料費\$0.644/kg = \$58.86

シナリオ 2(Sc2 ; 3%脂肪添加)

体重増加 = 112 日 x ADG0.841 = 育成・肥育にて 94.2 kg 増加

増体 1kg 当りの飼料費 = 飼料要求率 2.632 x 1kg 当りの飼料費\$0.245 = \$0.645

豚 1 頭当りの飼料費 = 94.2 kg 増加 x 飼料費\$0.645/kg = \$60.76

シナリオ 1 は増体 1kg 当りの飼料費がわずかに低く、1 頭当たりの飼料費は最も低くなります。しかし、シナリオ 2 では豚 1 頭当りの重量が大きいため、その点を考慮する必要があります。

飼料費差引利益 (IOFC)

前提条件：

- 生体価格 = \$1.21/kg

IOFC (Sc1) = (豚価格\$1.21/kg x 91.4 kg 増加) - (豚 1 頭当りの飼料費\$58.86) = 豚 1 頭当り **\$51.73**

IOFC (Sc2) = (豚価格\$1.21/kg x 94.2 kg 増加) - (豚 1 頭当りの飼料費\$60.76) = 豚 1 頭当り **\$53.22**

シナリオ 2 における豚 1 頭当りの飼料費差引利益はシナリオ 1 よりも \$1.49 良く、このシナリオで脂肪を添加することによる利益がみられました。

総費用差引利益 (IOTC)

前提条件：

- 枝肉歩留 = 74%
- 枝肉価格 = \$1.65/kg
- 育成豚(23kg)費用 = \$55
- 増体量 = 91.4kg
- その他の費用(施設／配送／医療／ワクチン／屠殺) = 豚 1 頭当り \$14.56

生体ベースの計算

IOTCL (Sc1) = [\$1.21 x (23+91.4)] - (\$58.86+\$14.56+\$55.0) = 豚 1 頭当り **\$10.00**

IOTCL (Sc2) = [\$1.21 x (23+94.2)] - (\$60.76+\$14.56+\$55.0) = 豚 1 頭当り **\$11.49**

生体ベースの市況で、シナリオ 2(3%脂肪添加)はシナリオ 1(脂肪無添加)よりも豚 1 頭当り 1.49\$ の増益がみられます。

枝肉ベースの計算

IOTCC (Sc1) = [\$1.65 x (23+91.4) x 0.74] - (\$58.86+\$14.56+\$55.0) = 豚 1 頭当り **\$11.26**

IOTCC (Sc2) = [\$1.65 x (23+94.2) x 0.74] - (\$60.76+\$14.56+\$55.0) = 豚 1 頭当り **\$12.78**

つまり、このシミュレーションでは、シナリオ 2(3%脂肪添加)はシナリオ 1(脂肪無添加)よりも豚 1 頭当り \$1.52 の増益がみられます。

シナリオ 2 では飼料中に 3%脂肪を含むため費用が上がったものの、結果的に脂肪無添加のシナリオ 1 と比較すると飼料費差引利益(IOFC)と総費用差引利益(IOTC)が高かったため、利益増加につながりました。

表 A2. シナリオ 1 および 2 の経済的な絶対差および相対差

想定	差(シナリオ 2－シナリオ 1)	
	絶対値	相対値(%)
飼料費(\$/kg)	0.015	+6.5
豚 1 頭当りの飼料費(\$/頭)	1.90	+3.2
生産 1kg 当りの飼料費(\$/kg)	0.002	+0.3
IOFC(\$/頭)	1.49	+2.9
IOTC 生体重ベース(\$/頭)	1.49	+14.9
IOTC 枝肉ベース(\$/頭)	1.52	+13.5

結論として、飼料配合に対し複数の戦略およびアプローチをとることができます。パフォーマンス (ADG、飼料要求率、利益)のみならず農場の日齢固定または体重固定の特性を考慮するアプローチが重要です。日齢固定が数か月、体重固定が残りの期間という設定もありえます。よって、枝肉ベースで飼料(および施設)費用差引利益または総費用差引利益などのアプローチを用いることは、養豚経営の収益性を確実に最大化する解決策となります。

季節に合わせた飼料配合

従来から米国では、夏場の数か月間で豚肉供給が減少するにつれて、市場の豚価は高騰します。(図 A3)。夏場の交配における季節性の不受胎による分娩率の低下、気温が上がる数か月間の食下量低下による増体の低減、夏場の市場需要も高まりが供給減少と関連している可能性があります。地域によっては気候変動や市場需要の影響を受けるため、豚価が最も高くなる月は世界中の各地域で異なることもあります。未だに季節要因により、価格差が生じることもあります。

米国を例にとると、夏場の価格高騰を最大限に活かすため、栄養担当と生産チームは目標とする月に出荷体重を重くするための戦略により一層注力する必要があります。このような戦略は、現在生産システムで使用している栄養素のレベルにより異なります。一般的な内容を以下に示しますが、これらに限ったものではありません。

- エネルギー増加
- アミノ酸増加
- 銅の増加
- 可能であれば、ラクトパミンやその他の成長促進剤を使用

栄養担当や生産者が、目標とする月に豚価の高騰を最大限活かせるよう、飼料の切り替え日を算出する際には下記のツールをご利用ください。

PIC 季節の合わせた飼料配合計算ツールは次の URL にアクセスしてください。 https://gnsplc.sharepoint.com/:f:/s/PIC-TechnicalResources/EpikC4XRqgpGomgx_KOkazwB886pStREUGvB1SwywtvisA?e=pl8PTd (※日本語版非対応です)

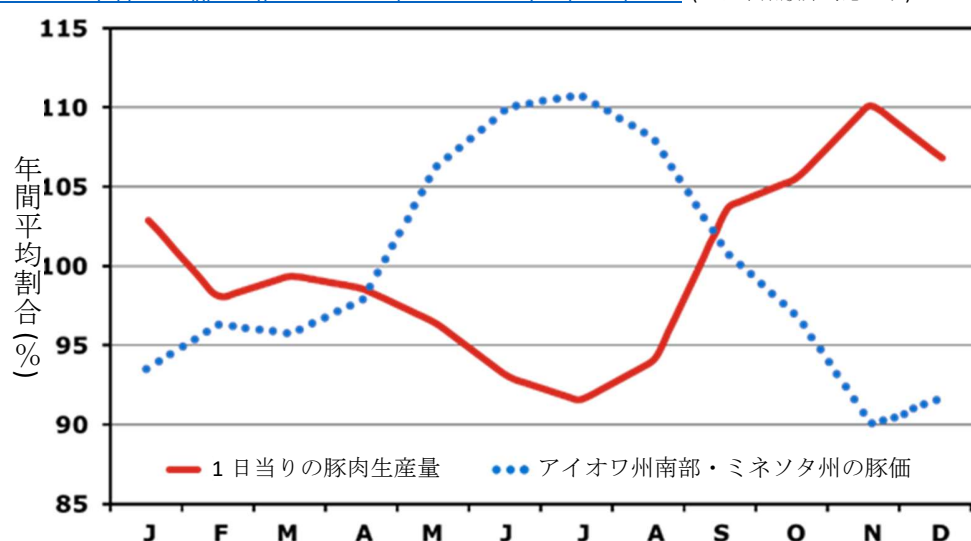


図 A3. 米国における 1980～2016 年の各季節の豚肉供給と価格指数(出典：EMI Analytics)

セクション B

エネルギー



飼料中のエネルギーは、どのような飼料でも最大の費用を占めます。パフォーマンスや経済的影響について、異なる生産フェイズを通して飼料中のエネルギーを理解することが重要です。

- 飼料や原料におけるエネルギーの表し方はいくつかあります。
- 代謝エネルギー(ME)や正味エネルギー(NE)が最も一般的です。
- 飼料中の適切な相対値を評価するためには、正確な原料のエネルギー値を推定する必要があります。
- エネルギーの推定必要量を満たすために、豚は食下量を増やします。
 - 低エネルギー、高繊維飼料では食下量を上げてても完全には補いきれません。
 - 適切な飼料管理、ヘルステータス、環境条件により、豚は制限なく飼料摂取することが可能となります。
- PIC とカンザス州立大学は、飼料費差引利益が最大となるよう飼料中エネルギーレベルを決定するためのモデルを開発しました。豚価と原料コストがこのモデルに影響を与える大きな要素です。

可消化エネルギー(DE)は総エネルギー(GE)から糞便に消費される熱量を差し引いたものです。代謝エネルギー(ME)は DE から尿およびガス生産に消費される熱量を差し引いたものです。豚のガス生産は一般的に無視されます。正味エネルギー(NE)は ME から、消化熱および栄養代謝熱からなる熱量増加を差し引いたものです。NE はさらに、維持 NE(NE_m)および生産 NE(NE_p)に分けられます。NE_m は、生命維持および恒常性(すなわち、体温)維持に必要なエネルギーです。NE_p は、タンパク質、脂肪の合成、胎仔の発達、および母乳産生に必要なエネルギーです。このように、成長パフォーマンスを予測するうえで、NE は最も正確なシステムです(Nitikanchana et al.,2015)。

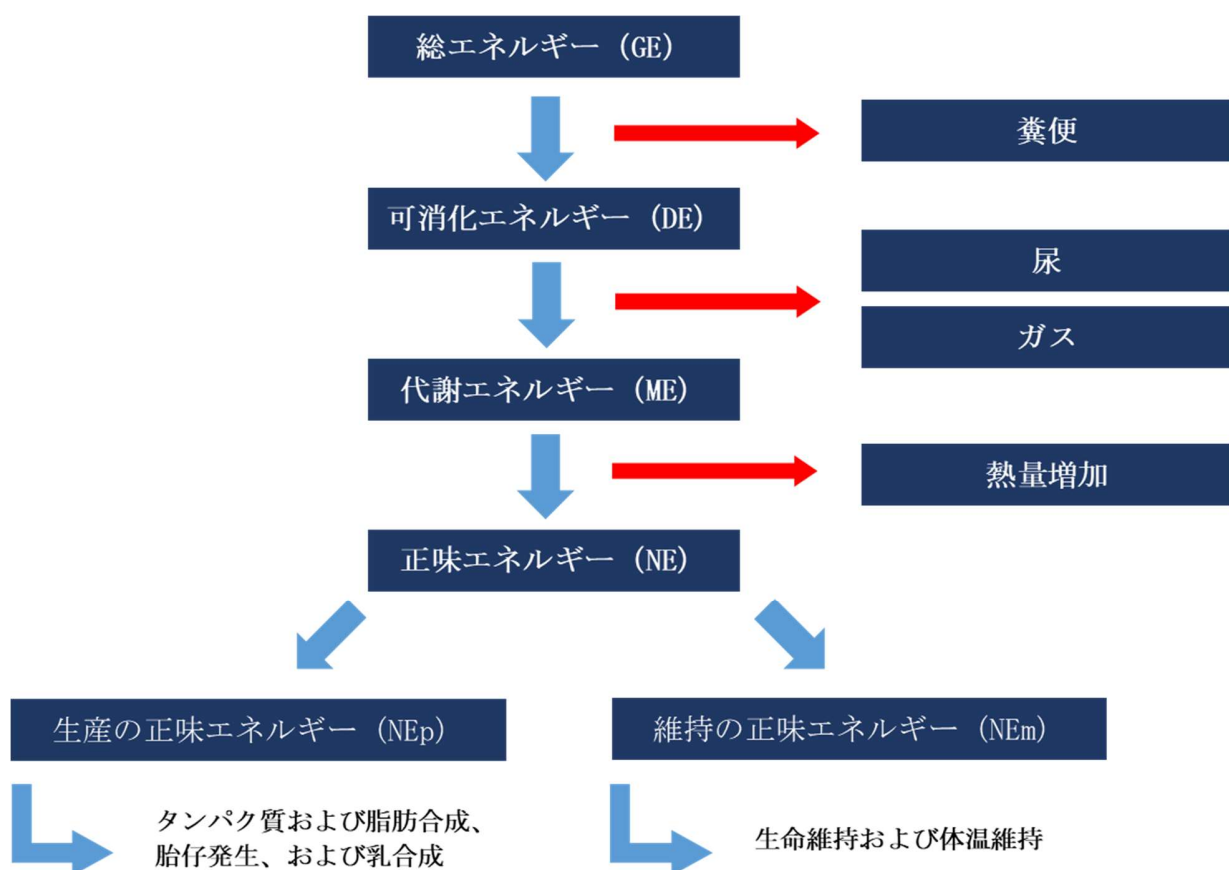


図 B1. 豚による飼料エネルギーの利用

高繊維(DDGS、小麦粗粉など)および/または高タンパク質(大豆粕など)等の原料は、消化時の熱量増加がより大きくなります(図 B2)。高繊維または高タンパク質の場合には中程度レベルのときと比べて、ME と NE の間には大きな違いがみられます。温熱中間帯より寒い環境では、豚は、体内の熱源確保のために熱量を消費できることも考慮に入れることが重要です。そのため、冬場は、夏場のような食下量の低下はなく、余剰なエネルギーを豚が体温維持のために体内で消費するため、高繊維および高タンパク質飼料であるかどうかはさほど問題にはなりません。

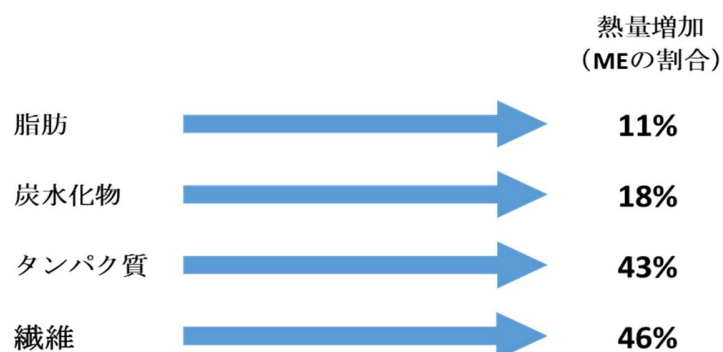


図 B2. 豚の代謝エネルギー(ME)の割合で表した熱増加 出典：Noblet & van Milgen(2004)および Rijnen et al.(2003)

原料のエネルギー量の重要性

飼料配合で用いられる原料の各栄養カロリー値は重要です。ご利用の原料データベースに一貫性があることが非常に重要となります。例えば、米国学術会議(NRC、2012)と Central Bureau for Livestock Feeding (CVB、2008)の2つの異なるデータベースを用いた結果、同じ飼料を用いた場合、ME(3.3%の差)、NE(4.2%の差)、SID Lys(2.2%)それぞれに差が見られました(表 B1)。この比較結果は、エネルギー値において一貫した参照元を使用することの重要性がしめされました。

原料データベースに載っていない原料については、様々な方法を用いてエネルギー値を算出することが可能です。これらの方法には、似た成分組成を持つ原料の値を参考にすることや滴定分析を行うこと、または近似分析に基づく計算を行うことも含まれています。参照元の水分量の差に基づいて、農場で使いの原料のエネルギーを調整することをご検討ください。PICの推奨値やツールで使用しているエネルギー値はすべて NRC(2012)を用いています。NRC2012を使用して、同じ飼料でエネルギーを比較することで、PICのツールを用いた際に利用可能なエネルギーの調整量がわかりやすくなります。ツールの使用においては、酵素から放出されるエネルギーやアミノ酸は含まずに考えます。

表 B1. 2種類の原料データベースを使用し同じ成分割合の配合をした飼料(NRC2012 vs CVB 2008)

項目	割合(%)	
トウモロコシ、黄色	70.99	
大豆粕、solv. extr.、CF < 4%、CP < 48%*	25.19	
コーン油	1.00	
炭酸カルシウム	0.95	
第一リン酸カルシウム	0.78	
食塩(NaCl)	0.37	
L-リジン塩酸塩	0.17	
DL-メチオニン	0.04	
L-スレオニン	0.02	
ビタミンおよび微量元素プレミックス	0.50	
合計(%)	100	
	NRC, 2012	CVB, 2008
代謝エネルギー(ME、kcal/kg)	3,342	3,232
正味エネルギー(NE、kcal/kg)	2,515	2,414
標準回腸可消化(SID)リジン(%)	0.93	0.91

*CF = 粗繊維；CP = 粗タンパク質

同レベルの ME を得られるようなトウモロコシ・大豆粕ベース飼料と高繊維原料ベース飼料を設計しました(表 B2)。しかし、同じ ME の飼料であっても、高繊維飼料の NE は 2.5%低くなります。この場合、NE 値の方がより正確な値であれば飼料要求率は 2.5%悪化することになります。そのため、高繊維飼料原料のレベルが高い場合には、NE でみると経済的な差が発生しますが、ME だと差はないことになります。

表 B2. NRC(2012)原料値にて、飼料の ME 値が同じでも NE 値が異なる原料の例

項目	トウモロコシ・大豆粕飼料	高繊維含有飼料
トウモロコシ、黄色	70.99	37.48
トウモロコシ DDGS、< 4% Oil	---	30.00
小麦外皮(フスマ)	---	19.00
大豆粕、solv. extr.、CF < 4%、CP < 48%*	25.19	7.11
コーン油	1.00	3.52
炭酸カルシウム	0.95	1.28
第一リン酸カルシウム	0.78	---
食塩(NaCl)	0.37	0.39
トリジン塩酸塩	0.17	0.57
L-スレオニン	0.02	0.10
L-トリプトファン	---	0.04
DL-メチオニン	0.04	0.03
ビタミンおよび微量ミネラルプレミックス	0.50	0.50
合計(%)	100	100
ME(kcal/kg)	3,342	3,342
NE(kcal/kg)	2,515	2,452
SID リジン(%)	0.93	0.93

*CF = 粗繊維；CP = 粗タンパク質

育成・肥育豚飼料におけるエネルギー反応

最も収益性の高い飼料のエネルギーレベルを設定するには、飼料中のエネルギーレベルの変化による豚のパフォーマンスの違いを理解することが必須です。PIC®337 を止め雄として使用した肉豚のパフォーマンスに対する飼料エネルギーレベルによる影響を測定しました(表 B3)。飼料は、PIC の SID リジン：Mcal ME 比推奨値に合わせて配合しました(補足資料 A)。すべての飼料において、最小 SID アミノ酸比が維持されました。

表 B3. 育成・肥育豚の増体パフォーマンスにおけるエネルギーの効果

項目	飼料エネルギーレベル	
	低エネルギー	高エネルギー
初期体重(kg)	21.8	21.8
出荷体重(kg)	130.8	130.7
給餌日数	123	119
ADG(kg)	0.894	0.921
平均 1 日当り食下量(kg)	2.40	2.26
要求率	2.69	2.45
ME 摂取量(Mcal/日) ^a	7.98	7.98
NE 摂取量(Mcal/日) ^b	5.86	6.08
エネルギー要求率(ME Mcal/kg)	8.82	8.54
エネルギー要求率(NE Mcal/kg)	6.50	6.51

^a出典：PIC エグゼクティブサマリー51

^b飼料エネルギーレベルは、NRC(2012)データベースの栄養価を想定して算出。

高エネルギー飼料を給餌することにより、数値上 ADG が 3.1%改善、平均 1 日当り食下量が 6.1%低減、飼料要求率が 8.7%改善しました。1 日当りの ME 摂取量はエネルギーレベルが異なる場合でも近似していたのに対し、低 NE 飼料を給餌した豚は高 NE 飼料の場合よりもエネルギー摂取量が約 3.5%低くなりました。このことから ME ベースでは、低エネルギー飼料を給餌した豚のエネルギー要求率は 3.1%下がり、NE ベースでは高エネルギー飼料、低エネルギー飼料ともにエネルギー要求率はほぼ同一になることがわかりました。飼料要求率には差がでても、低 NE 飼料を給餌した豚が必ずしもエネルギー要求率まで悪くなるというわけではなく、ME システムと比較すると NE システムの方がより正確であるように見受けられます。

直近のコマーシャル農場での試験では、飼料中 NE レベルと中性デタージェント繊維(NDF)のより大きな範囲での変化が、30~130kg の育成・肥育豚のパフォーマンスに与える影響を調査しました(Lu et al.,2020)。合計 2,058 頭の PIC の豚(PIC®380×Camborough®)を 7 つの給餌方法ごとに分け、与える飼料の NE(2.11~2.73 Mcal/kg)を段階的に上げながら NDF(24.2~9.5%)を下げました。低エネルギー飼料では、より繊維質の多い原料を使用し、かつ油脂を減らし、高エネルギー飼料ではトウモロコシと油脂を多く使用しました。2.42 Mcal/kg の飼料は、トウモロコシ・大豆粕ベース飼料と同等のエネルギーレベルである考えられます。

飼料中の NE を増やし繊維を減らすと、ADG が増加、ADFI が低下、枝肉要求率が改善、1 日当り NE 摂取量が増加しました(多項式回帰、 $P<0.05$ ；図 B3)。最もエネルギーが低い試験区は、トウモロコシ・大豆粕飼料と比較して 14%低いレベルでした。最もエネルギーが低い試験区においては、飼料食下量は 9%しか増加しなかったため、結果的に ADG は 7%低減しました。本試験結果は、豚がより多く食べることで、飼料中のエネルギーを減らしてもその分を補うことが可能であると報告した Schinckel et al. (2012)とは一致しませんでした。両試験の差異は、直近の試験における NDF の増加範囲が、古い試験と比べてかなり大きかったためである可能性があります(NDF 増加率 直近試験：11.3%、過去試験：4.4%)。

本ガイドラインは 2025 年に発行された PIC® NUTRITION AND FEEDING GUIDELINES をイワタニ・ケンボロー（株）が翻訳したものです。可能な限り原文に忠実に訳しておりますが、翻訳の正確性を保証するものではありません。英語原文のガイドラインに関しては、PIC の HP をご覧ください。 <https://www.pic.com/resources/nutrition>

MetricVersion2025.07.21

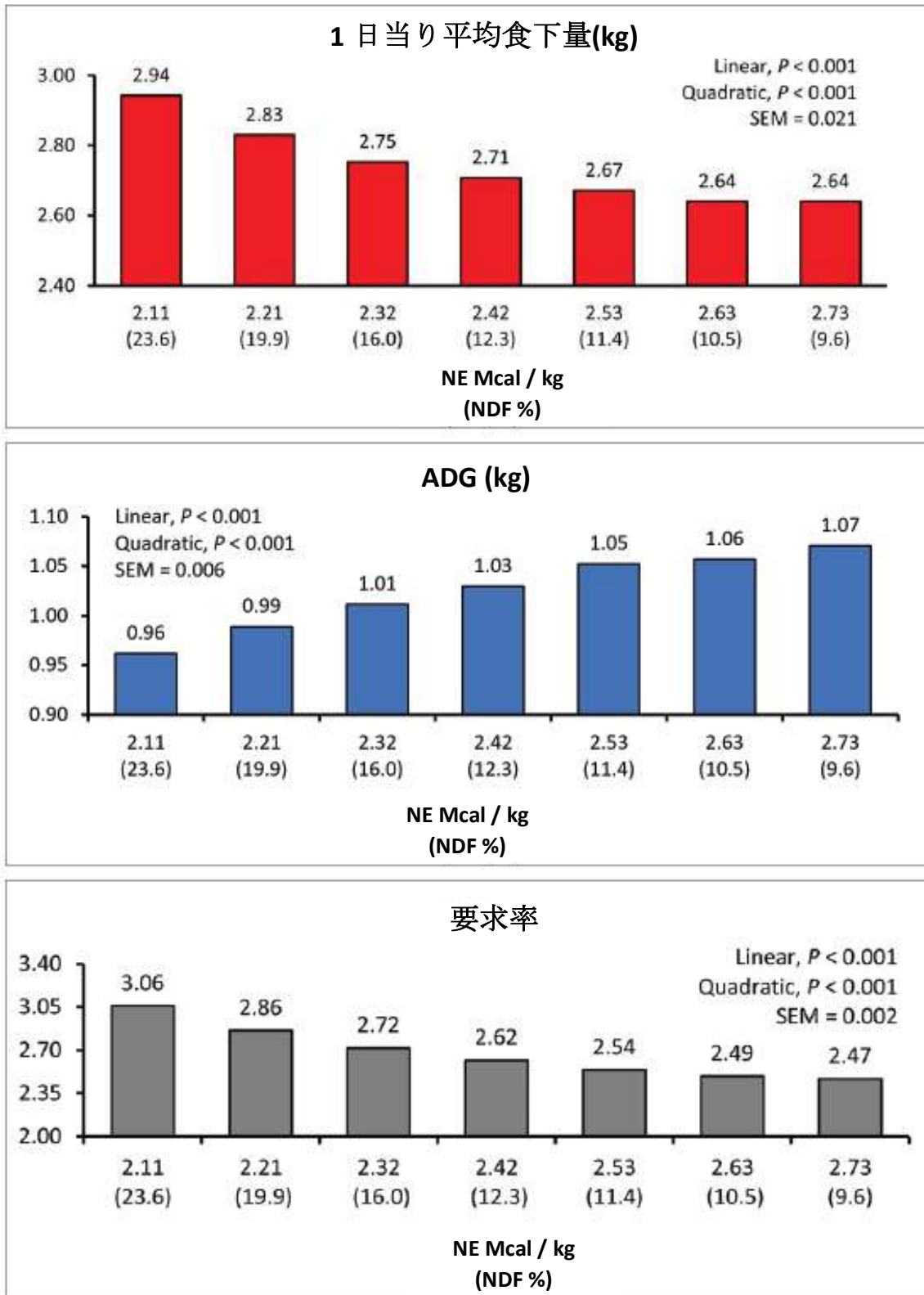


図 B3. 育成・肥育豚における ADFI、ADG、飼料要求率に対するエネルギーと繊維レベルが及ぼす効果

淘汰率や悪癖（尾かじり等）の発生数は、NE が少なく NDF が多かった飼料を給餌した豚である方が明らかに大きくなります(図 B4)。我々は、悪癖の発生率の高さは、栄養摂取が不十分なことに関係があると仮定しました。低エネルギー飼料を給餌すると、豚は、1 日当り食下量を胃の容量限界まで増加させますが、1 日当りの栄養摂取量は減少します。また、高繊維で低エネルギーな栄養レベルの低い飼料を接種した豚は、同じカロリー量を消費するのにより時間がかかると推測しました。そのため、低エネルギーかつ高繊維の飼料を給餌するときには、給餌スペースや給餌器パン面積に対し飼料が覆われている面積の割合がより重要になります。農場の担当者は、何か飼料の変更があったときには、豚の食下量が適切を高く保つために、給餌スペースや飼養面積、給餌器の調整に気を付ける必要があります。本試験結果では、食下量が制限されると豚のパフォーマンスが低下することを示しています。Laskoski (2019) は、給餌器 1 頭口当りの飼養頭数が増加すると、耳や尾のケガが増加すると報告しています。給餌スペースや給餌器の調整に関する推奨事項の詳細については、次の URL にアクセスし、最新のウィーントゥフィニッシュガイドラインをご参照ください。

<https://www.pic.com/resources/wean-to-finish-manual-english/> (日本語版はイワタニ・ケンボロー(株)までお問合せください)

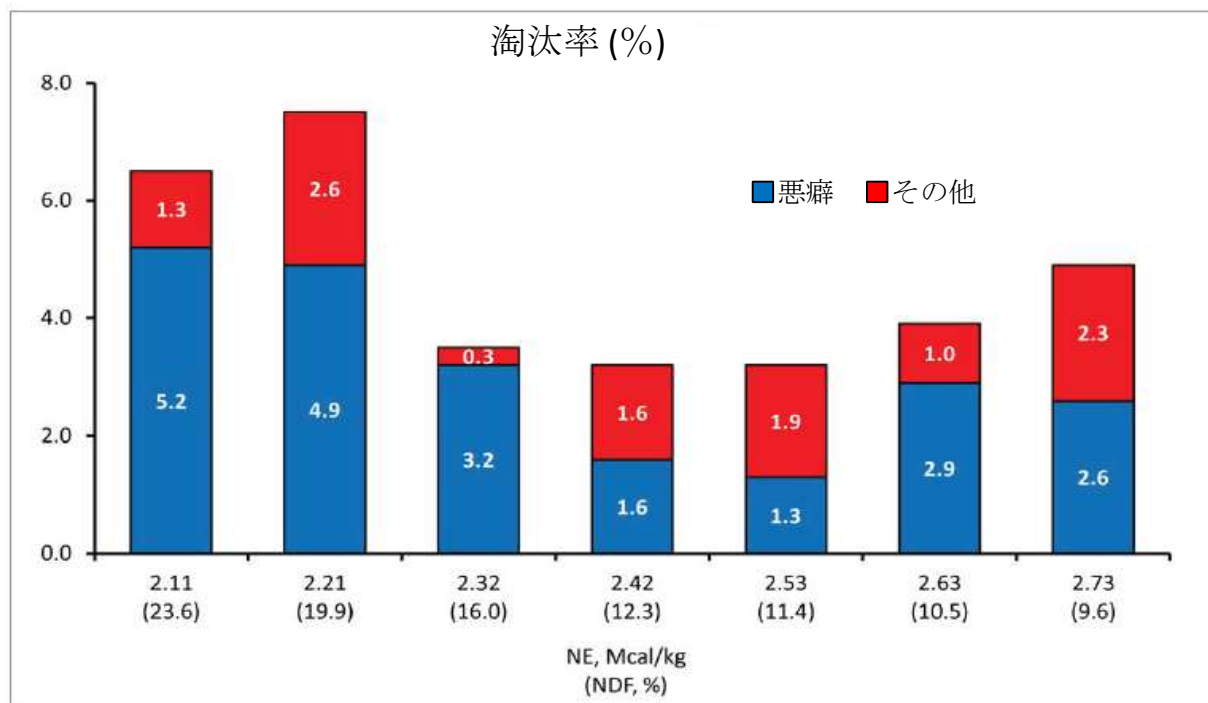


図 B4. 事故率と異常行動の発生に対するエネルギーと繊維レベルが及ぼす効果

適切なエネルギーに対する経済モデル

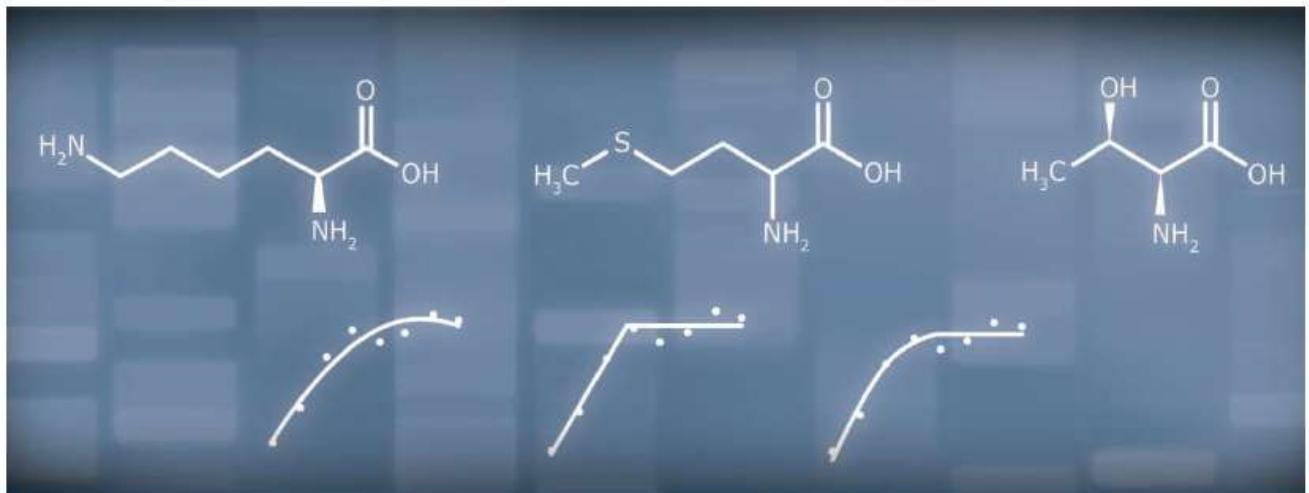
飼料中の NE の違いによる育成肥育豚の増体や要求率(Nitikanchana et al., 2015)および枝肉歩留への影響(Soto et al., 2019a)を予測するため、回帰式を開発、検証しました。この回帰式は、生体重量または枝肉重量ベースでの肉豚 1 頭当りの総費用差引利益が最も高くなる最適な飼料中 NE レベルのモデルを作成するために活用されます。PIC とカンザス州立大学では、このモデルに基づき、また農場の利益が最大となる飼料中の具体的なエネルギーレベルや農場の生産性や経済性の変化を考慮にいたしたツールを開発しました。そのツール及び使い方につきましては、次の URL にアクセスしてください。

https://gnsplc.sharepoint.com/:f/s/PIC-TechnicalResources/EpikC4XRqgpGomgx_KOkazwB886pStREUGvB1SwwywtvjsA?e=pl8PTd

(※日本語非対応です)

セクション C

タンパク質およびアミノ酸



タンパク質はアミノ酸により構成されています。アミノ酸は効率的な成長や繁殖に必要不可欠です。豚はステージごとに必要なアミノ酸の要求量が異なります。

- 豚の飼料において、複数のアミノ酸の記載方法があります。
- 標準回腸可消化(SID)アミノ酸が最も現実に即していると PIC は考えています。
- 理想的なタンパク質給与は、飼料中の SID リジンに対しその他の必須アミノ酸が必要最低限の比率で給与されている状態です。
- 生産ステージにより、必要最低限の比率は異なります。
- 豚が 1kg 増体するには、SID リジンが最大 20g 必要です。
- 遺伝改良により飼料効率が改善されたことにより、飼料中のアミノ酸レベルを上げる必要があります。
- 複数の研究から、飼料中の粗タンパク質(CP)レベルが 13%未満になると、育成・肥育豚の増体パフォーマンスが低下することが示唆されています。
- 増体パフォーマンスが最大となるアミノ酸レベルは、最も費用対効果が良いとは限りません。それを算出する際は SID リジンの経済性計算ツールが有用です。

必須アミノ酸と非必須アミノ酸

タンパク質を構成するアミノ酸は 20 種類あります。飼料中のアミノ酸は必須アミノ酸と非必須アミノ酸に分けられます(表 C1)。豚は必須アミノ酸を必要な速度で合成することができないため、一般的に飼料は必須アミノ酸の要求量を満たすように配合されます。飼料中に十分な窒素量が含まれていれば、非必須アミノ酸の合成は可能です。一部のアミノ酸については、特定の飼料や生理学的状況下でのみ必要となる可能性があるため、条件付き必須アミノ酸として分類されます。

表 C1. 必須アミノ酸、非必須アミノ酸、条件付き必須アミノ酸(出典：NRC、2012)

必須アミノ酸	非必須アミノ酸	条件付き必須アミノ酸
ヒスチジン	アラニン	アルギニン
イソロイシン	アスパラギン	システイン
ロイシン	アスパラギン酸	グルタミン
リジン	グルタミン酸	プロリン
メチオニン	グリシン	チロシン
フェニルアラニン	セリン	
スレオニン		
トリプトファン		
バリン		

エネルギーはどのような飼料においても飼料コストの大部分を占めていますが、エネルギーレベルに対する反応の程度は、適切なアミノ酸が確保されているかどうかが大きく影響を及ぼします。経済的なエネルギーレベルを決める前に、まず必要なアミノ酸レベルを決めなければなりません。理想的なパフォーマンスを発揮させるため、すべての基本的なアミノ酸が必要量を満たさなくてはなりません。

アミノ酸必要量の記載方法

アミノ酸は複数の方法で表現することができます。

- **総アミノ酸**：アミノ酸分析においてみられる原料中の成分のうち、すべてのアミノ酸を表します。原料による各アミノ酸の消化率が考慮されていないことが欠点として挙げられます。消化率の差を考慮するため、他の記載方法が開発されました。
 - **生物学的利用能 (Bioavailability)**
「勾配比法」と呼ばれる方法を用い、組織レベルでのアミノ酸の可消化性+吸収後利用を推定しています。しかし、この方法は最も費用が高く、飼料原料を配合した場合には原料ごとに消化率が異なるため、あてはまらない可能性があります(Gabert et al., 2001)。
 - **消化率**
全消化管または回腸消化率として表します。全消化管消化率は、摂取量と糞中から回収されたアミノ酸量の差に基づいて推定されます。この場合、大腸における微生物発酵による消化率を過大評価する可能性があります。対照的に、回腸消化率は摂取量と回腸消化物から回収されたアミノ酸量の差に基づいて推定され、より正確な推定値を示しています。
 - **見かけの回腸可消化 (AID)**：内因性アミノ酸の損失分は考慮していません。
 - **標準回腸可消化 (SID)**：基本的な内因性アミノ酸の損失分を考慮しています。
 - **真の回腸可消化 (TID)**：基本的な内因性アミノ酸も特異的な内因性アミノ酸の損失分も考慮しています。

一般的に、飼料中のエネルギーが増加すると、カロリーの摂取量は同程度でも1日当りの食下量が低下します。飼料中のエネルギー量に関するアミノ酸(すなわち、リジン/カロリー比)を明確にし、エネルギー量が異なる場合に合わせてアミノ酸を調整します(Chiba et al., 1991; De La Lata et al., 2001)。エネルギーが上がればリジンも上がり、エネルギーが下がればリジンも下がります。しかし、リジン/カロリー比は飼料中のエネルギーに関係なく一定です。この調整を行うことで、飼料中のエネルギー割合の変化に応じて食下量や増体に合わせ、アミノ酸の調整を行います。

アミノ酸比率

NRC(2012)は、各ステージごとの必須アミノ酸推奨量を定めました。その後、PICの豚を用いた最新の調査に基づき、推奨必須アミノ酸量を変更いたしました。本マニュアルではSIDベースでアミノ酸の要求量を示しています。リジンの要求量はSID リジン/NE比で表しています。その他の必須アミノ酸の要求量については通常、飼料中において第一制限アミノ酸となるSID リジンに対する最小値として表しています。また、PICのアミノ酸の要求量は、MEやNEを含め、NRC(2012)の原料の栄養組成を用いて決定しました。各ステージにおける飼料アミノ酸の最低必要比率は、本ガイドラインの栄養規格表に記載いたしました。

育成・肥育豚のアミノ酸の要求量に関する新たな知見

PICの豚における赤肉増体と効率性の増加は、世界中の生産システムで見られるようになってきています。適切なアミノ酸が供給されることが豚の生産を成功させる上では重要となります。飼料中のアミノ酸量が要求量以下である場合、タンパク質合成が低下し、脂肪合成が増加します(Main et al., 2008)。およそ増体1kgに対してSID リジン約20gが必要なことが報告されています(Goodband et al. 2014; Orlando et al., 2021)。成長率の増加や飼料効率の改善に伴い、飼料中のリジン要求量は豚に合わせて上げていく必要があります。

2016年にPICのSID リジン要求量の導き出したメタアナリシスを更新し、コマーシャル農場で48,338頭を用いて、2013年から2020年の合計29回の実験を実施しました(Orlando et al., 2021)。今回のメタアナリシスにおける直近2つの試験は、PICの遺伝改良核農場のインデックス上位15%の雄系品種から生産された豚を用いて行われました。雌雄両方の結果を用いてモデルを開発し、去勢と雌のそれぞれの要求量を推定するため、PIC337の成長曲線を使用しました。SID リジン/カロリー比の曲線は、NRC(2012)における原料の成分組成に従い、MEベースとNEベースの両方を作成しました。メタアナリシスのデータから確認されたNE/ME比は、約0.72~0.74の範囲でした。PIC2020年版SID リジンの要求量は、各試験で得られたADGと飼料要求率の結果に基づき、ADGは最大値の100%、飼料要求率は最大値の99.4%を達成できるレベルにしました。アップデートされた生物学的必要量は2016年版と比較してもほとんど同様ですが、離乳後期と肥育後期では必要量が調整されました(図C1)。

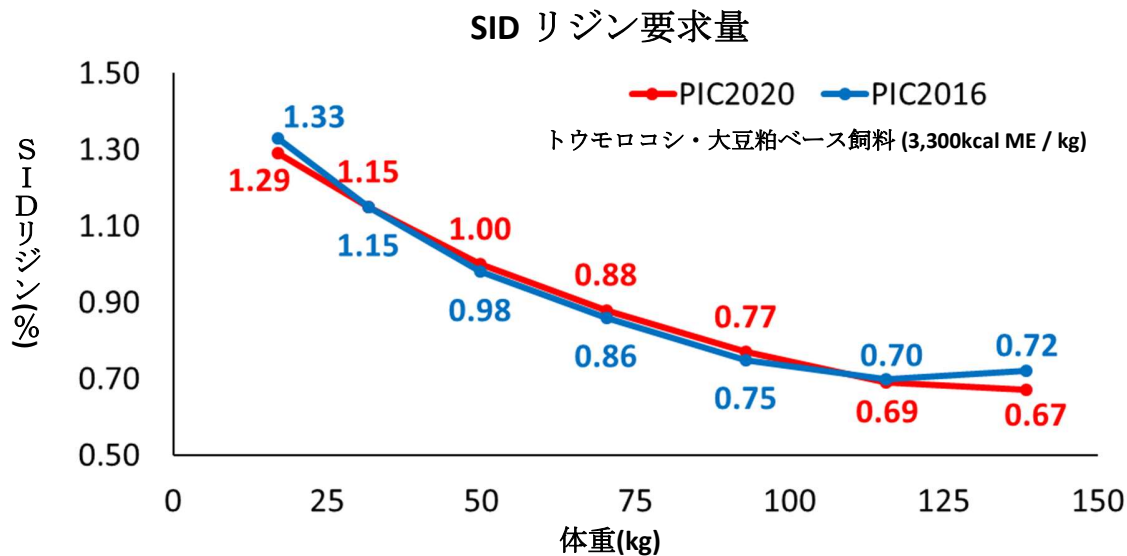


図 C1. トウモロコシ・大豆粕飼料ベースエネルギーにおける 2016 年版と 2020 年版の PIC の豚の飼料中 SID リジン要求量

性別と体重に基づき、PIC の SID リジン/カロリー比の要求量を推定するため、以下の回帰式を使用しました。

雌雄混合(去勢と雌)の SID リジン/NE 比(g /NE Mcal)= $0.0000327185 \times (\text{体重, kg} \times 2.204522)^2 - 0.0214484253 \times (\text{体重, kg} \times 2.204622) + 6.0773690201$

雌雄混合(去勢と雌)の SID リジン/ME 比(g /ME Mcal) = $0.0000255654 \times (\text{体重, kg} \times 2.204622)^2 - 0.0157978368 \times (\text{体重, kg} \times 2.204622) + 4.4555073859$

体重 40kg 未満の去勢における SID リジン = 雌雄混合の SID リジン/Mcal 比と同じ

体重 40kg 超の去勢における SID リジン = 雌雄混合の SID リジン/Mcal 比 - $(-0.0000000031 \times \text{体重, kg}^4 + 0.0000013234 \times \text{体重, kg}^3 - 0.0002087068 \times \text{体重, kg}^2 + 0.0142221655 \times \text{体重, kg} - 0.3126825057) \times$ 雌雄混合の SID リジン/Mcal 比

体重 40kg 未満の雌における SID リジン = 雌雄混合の SID リジン/Mcal 比と同じ

体重 40kg 超の雌における SID リジン = 雌雄混合の SID リジン/Mcal 比 + $(-0.0000000031 \times \text{体重, kg}^4 + 0.0000013234 \times \text{体重, kg}^3 - 0.0002087068 \times \text{体重}^2, \text{kg}^2 + 0.0142221655 \times \text{体重, kg} - 0.3126825057) \times$ 雌雄混合の SID リジン/Mcal 比

【去勢向け SID リジン \times [0.0023 \times 体重, kg + 0.9644] < 雌向け SID リジン】であれば、

⇒雌向け SID リジン = 雌の SID リジン/Mcal 比

【去勢向け SID リジン \times [0.0023 \times 体重, kg + 0.9644] > 雌向け SID リジン】であれば、

⇒雌向け SID リジン = 去勢の SID リジン \times [0.0023 \times 体重, kg + 0.9644]

世界的に出荷体重が増加していることに伴い、より体重が大きい豚における栄養要求量を理解する必要があります。コマーシャル農場レベルで、雌雄混合のペンに収容されている 990 頭(PIC® 337 x Camborough®)を用いて、体重 130~150kg の豚における SID リジンの要求量を決定するため、調査研究を行いました(Orlando et al., 2018)。肥育後期における最適な要求率となるポイントは、SID リジン/ME 比で 2.21g/Mcal との結果が出ています。体重 150kg 以上になってもリジンの要求量が著しく減少することではなく、本研究データは出荷体重が増加した場合のリジンの要求量をより正確に反映するもので、PIC2020 メタアナリシスにも含まれています。

経済性や環境への懸念から、アミノ酸の供給源を部分的に原料タンパク質から飼料用アミノ酸に置き換えることで、粗タンパク質(CP)割合を減らす方向へ広く世界的に進んでいます。豚にとっては、具体的な粗タンパク質要求量があるわけではありませんが、粗タンパク質が減少し過ぎると豚のパフォーマンスも低下することが直近の研究で示されました。適切なアミノ酸割合を満たしている場合でも、肥育後期飼料の粗タンパク質 13%未満にするとより明白な差がみられます(Tous et al., 2014; Soto et al., 2019b)。非必須アミノ酸のほか、タンパク質源や粗タンパク質源、大豆粕含有量、大豆イソフラボンレベル、飼料中の電解質バランス、コリン、カリウムにより得られるその他栄養素が不足する場合についても、パフォーマンスが低下する可能性を示したいくつかの調査があります(Rojo, 2011; Ball et al., 2013; Rochell et al., 2015; Mansilla et al., 2017; Thomas et al., 2018)。体重 100kg 超の豚において、粗タンパク質は 13%未満だがアミノ酸レベルは適切であるときのパフォーマンス低下の原因については、さらなる研究が必要です。

適切な SID リジン割合における生物学的モデルと経済性モデル

過去 10 年間の増体と飼料効率改善に対するゲノム選抜により、豚の遺伝的能力を引き出すための栄養素の要求量を再評価する必要があります。前述のメタアナリシスの結果は、さまざまな体重域における PIC の種豚の生物学的 SID リジンの要求量を推定するツールの開発のベースとなりました。

リジンレベルは飼料費に大きな影響を与えます。経済性のシナリオによっては、成長率を最大にするための生物学的 SID リジンでは、収益性が最大とはならない可能性があります。ご利用の経済的な状況が異なる中で、皆様が生物学的リジンの要求量と比較して最新の SID リジンレベルを決定しやすいように、PIC はエクセルベースのツールを開発しました。ツールとその使い方に関しては次の URL にアクセスしてください。

https://gnsplc.sharepoint.com/:f/s/PIC-TechnicalResources/EpjkC4XRqgpGomgx_KOkazwB886pStREUGvB1SwywtvjsA?e=pl8PTd

(日本語非対応です)

セクション D

マクロミネラル



マクロミネラルは、DNA および RNA 構造的枠組みから骨の発達、電解質バランス、および成長パフォーマンスなど、多くのプロセスに関与します。飼料中のマクロミネラルレベルを適切しておくことは、正しい飼料配合のために重要です。豚の飼料中に含まれる主なマクロミネラルには、カルシウム(Ca)、リン(P)、ナトリウム、塩素があります。

- 豚の飼料中のリンを表す一般的な方法は有効リン(有効 P)と標準総消化管可消化リン(STTD P)です。
- コマーシャル農場下で行われた最新の研究をもとに、離乳、育成・肥育、候補豚の各ステージでリンの推奨値が更新されました。
- 飼料中の Ca は分析 Ca(近似分析)または総 Ca で表され、分析 Ca とフィターゼにより放出された Ca の合計を総 Ca とします。
- 骨を良好に発達させるための飼料中 P の割合は、増体を最大にする場合よりも多くなります。
- 過剰な Ca は P の利用に負の影響を及ぼします。P が制限されているときは特に、Ca/P 比を保つようにしましょう。
- 肉豚の増体を最大にする P の割合が、最も良い費用対効果であるとは限りません。PIC とカンザス州立大学は、P の割合を決める際に有用なツールを開発しました。
- 離乳期の仔豚向けのナトリウム推奨値は、他の生産ステージよりも高い値となっています。

カルシウムとリン

カルシウム(Ca)とリン(P)は赤肉産生、骨格の発達と維持、多くの代謝機能に必要不可欠です。

リンとカルシウムを表す方法は様々です。

- **分析 Ca(P)**：分析 Ca や分析 P は、原料に含まれるすべての Ca と P のことであり、近似分析により得られます。
- **総 Ca**：総 Ca は、分析 Ca に、フィターゼにより放出された Ca を足したものです。
 - **生物学的利用可能(Bioavailability)**
 - 有効 P は、「勾配比検定法」と呼ばれる方法を用い、組織レベルでのミネラルの可消化性+吸収後利用を推定します。しかし、この方法はより高額で、標準的な無機 P が 100%有効になることが前提となります。
 - **消化率**
 - **見かけの総消化管可消化(ATTD)**：基礎的内因性損失分の修正を行わず、摂取量と糞から回収した排泄量の差に基づき、総消化管可消化 Ca と P を推定します。
 - **標準総消化管可消化(STTD)**：基礎的内因性損失分を修正し、摂取量と糞から回収した量の差に基づき、総消化管可消化 Ca と P を推定します。
 - **真の総消化管可消化(TTDD)**：基礎的内因性損失および特異的内因性損失を修正し、摂取量と排泄量の差に基づき総消化管可消化 Ca と P を推定します。

NRC(2012)では、STTD、ATTD および総 P リンベースの要求量が載っています。P を表す方法のひとつである STTD P は、世界中の研究者や栄養担当者間でより一般的になってきます。STTD ベースでも、最適な P レベルを確立することは、重要課題であることに変わりありません。NRC(2012)において、離乳豚の STTD P の要求量は数学的回帰モデルにより推定し、育成・肥育豚の場合は要因分析的アプローチにより推定するとしています。それぞれ 1,080 頭と 2,140 頭の PIC の交雑豚を対象とした 2 つの最新の研究では、NRC(2012)が、11~23kg の豚における 1 日当りの STTD P 要求量を正確に推定していることを確認しました(Vier et al., 2019a)。最適な飼料効率や発育性となるような STTD P の要求量は、1,000 FYT のフィターゼを添加した、またはしない場合において、飼料中の割合で 0.34~0.42%の範囲となりました。PIC の交雑豚 1,130 頭を用いた別の最新調査では、雌雄平均 135g/日タンパク質を産生する豚であれば、24~130kg の体重域において増体または骨の発達が最適化されるような推定 STTD P レベルは、NRC(2012)の推定要求量に対してそれぞれ 122%と 131%であることが分かりました(Vier et al., 2019b)。増体 1kg 当りの STTD P の必要量は、離乳期で 5.77g、育成・肥育期で 7.50g でした。

性別と体重に基づく PIC の STTD P/カロリー比の要求量を推定するため、以下の回帰式を使用しました。

雌雄混合(去勢と雌)の場合の STTD P/NE 比(g / NE Mcal)= $0.000047 \times \text{体重, kg}^2 - 0.014391 \times \text{体重, kg} + 2.027515 - (\text{大豆粕とトウモロコシの NE 比, \%} - 78\%) \times 100 \times (0.00000043 \times \text{体重, kg}^2 - 0.000106 \times \text{体重, kg} + 0.007598)$

この方程式は、大豆粕とトウモロコシの正味エネルギー（NE）比が 78%から 100%の範囲で有効です。

雌雄混合(去勢と雌)の STTD P/ME 比(g / ME Mcal)= $0.000031 \times \text{体重, kg}^2 - 0.009664 \times \text{体重, kg} + 1.476751$

体重 40kg 未満の去勢における STTD P = 雌雄混合の STTD P/Mcal 比と同じ

体重 40kg 超の去勢における STTD P = 雌雄混合の STTD P/Mcal 比 - $(-0.0000000031 \times \text{体重, kg}^4 + 0.0000013234 \times \text{体重, kg}^3 - 0.0002087068 \times \text{体重, kg}^2 + 0.0142221655 \times \text{体重, kg} - 0.3126825057) \times$ 雌雄混合の STTD P/Mcal 比

体重 40kg 未満の雌における STTD P = 雌雄混合の STTD P/Mcal 比と同じ

体重 40kg 超の雌における STTD P = 雌雄混合の STTD P/Mcal 比 + $(-0.0000000031 \times \text{体重, kg}^4 + 0.0000013234 \times \text{体重, kg}^3 - 0.0002087068 \times \text{体重, kg}^2 + 0.0142221655 \times \text{体重, kg} - 0.3126825057) \times$ 雌雄混合の STTD P/Mcal 比

体重 30kg 未満の雄豚の STTD P = 雌の STTD/P 比と同じ

体重 30kg 超の雄豚の STTD P = 雌の STTD/P 比 + $(-0.0000000019 \times \text{体重, kg}^4 + 0.0000007208 \times \text{体重, kg}^3 - 0.0000963713 \times \text{体重, kg}^2 + 0.0050363106 \times \text{体重, kg} - 0.0486016916) \times$ 雌の STTD/P 比

候補豚の STTD P = $1.08 \times$ 雌の STTD P/Mcal

有効 P または STTD P ベースの各ステージにおける P の要求量については、本ガイドラインの栄養規格表をご参照ください。有効 P の要求量は、トウモロコシ・大豆粕ベース飼料において NRC(1998、2012)の STTD P 係数と P の生物学的利用率に基づき、STTD P の 86%として計算されています。

飼料中の P の最低レベルを定めたら、P との比率から Ca レベルを決めます。Ca/P 比が離れすぎていると豚の成長パフォーマンスに悪影響を及ぼし、特に P が不足したり最低限しか含まれていなかったりするとその影響は明白であることがいくつかの研究で確認されました(Gonzalez-Vega et al., 2016a,b; Merriman et al., 2017; Wu et al., 2018)。しかし、最適な Ca/P 比はフィターゼのような飼料中の成分の影響を受ける可能性があります。Vier et al. (2019c)は、フィターゼを添加せず、NRC(2012)の推奨値を超える P レベルを含む飼料を与えた 26~127kg の PIC の豚において、ADG が最大となる分析 Ca/分析 P 比は 1.38 : 1であることを示しました。フィターゼを 1,000FYT/kg で飼料に添加した場合、最適な分析 Ca/分析 P 比は 1.63 : 1に増加しました。

最近の研究では、将来的に飼料配合において有用となる可能性がある様々な原料に関して、可消化 Ca を調査することにも注目が集まっています(Stein et al., 2016)。とある最新の調査では、飼料中の STTD Ca : STTD P 比ベースで表した Ca/P 比は、分析 Ca/分析 P 比ベースで表したものと比較して、フィターゼの添加の有無にかかわらず、より正確であることが報告されています(Vier et al., 2019c)。

当マニュアルは分析 Ca を念頭においています。一部の原料や飼料添加物では、Ca 供給源を流動剤やキャリアー(Carrier)として含んでいることもあります。このような Ca 源における Ca 量は、飼料配合には考慮されない場合が多く、一方で Ca/P 比に大きな影響を及ぼす可能性があるため、実際の分析 Ca 値が計算値とは異なってしまうこともあります。

最適なリンレベルにするためのバイオロジカルモデルとエコノミックモデル

飼料中の P は、豚の成長パフォーマンスに大幅な影響を及ぼします。P は豚の飼料中で 3 番目に高価な栄養素とされており、糞便中の P による環境への影響も懸念されています。NRC では平均タンパク質合成量 135g/日を念頭に推奨値を推定していますが、現代の遺伝子型を持つ豚における STTD P の要求量は、この NRC の推定値よりも高くなるのがコマーシャルレベルの研究で分かっています。平均タンパク質合成量 155g/日以上豚に対する要求量と似た数値です(Vier et al., 2019b)。しかしながら、最大の増体となる STTD P レベルが必ずしも最大の経済的利益をもたらすとは限りません。

カンザス州立大学と PIC は、最大の発育パフォーマンスとなるために必要なレベルと現在の STTD P レベルを比較しながら、農場にとって最も経済的な P 要求量を検討することができるエクセルのツールを開発しました。上記のツールと手順は次の URL にアクセスしてください。

https://gnsplc.sharepoint.com/:f:/s/PIC-TechnicalResources/EpjkC4XRqgpGomgx_KOkazwB886pStREUGvB1SwywtvjsA?e=pl8PTd

(日本語非対応です)

ナトリウムと塩素の要求量

ナトリウム(Na)と塩素(Cl)は水および電解質のホメオスタシス、pH 調整、栄養素の吸収の維持において重要です。離乳豚ではより多くの Na と Cl レベルが必要となり、育成・肥育、妊娠豚、授乳豚になるとその要求量は減少します(NRC, 2012; Shawk et al., 2018; Shawk et al., 2019)。最も一般的な Na や Cl の供給源は添加した食塩(NaCl)です。食塩には Na が約 39.5%、Cl が約 59%含まれています。灰色の岩塩は、Na と Cl のレベルが低い可能性があるため注意が必要です。Na と Cl の不足により、食下量、ADG が減少し、飼料効率が悪化する可能性があります。食塩不足は尾かじりを引き起こす可能性もあります(Fraser et al., 1987)。豚は十分に水が飲める状態であれば、高レベルの食塩にも耐えられます。給水が不十分かつ食塩レベルが高いと、「食塩中毒」を引き起こす可能性があります。すなわち、配合レベルが満たされていることを確認するため、原料中の Na レベルをチェックすることが重要です。

セクション E

微量ミネラルおよびビタミン



本章では、最適なパフォーマンスを発揮させることに焦点を当て、ミネラルとビタミンの補充について説明します。微量ミネラルとビタミンの適切な量もまた、調整機能におけるさまざまな役割があるため、重要となります。これらの役割は、蹄構造の維持から繁殖効率の最大化に至るまで多岐にわたります。

- ビタミンの推奨値は、コマーシャル農場レベルで行われた最新の2つの試験をもとにアップデートしました。
- 微量元素の推奨値は、より飼料配合しやすいように調整しました。
- ミネラルやビタミンレベルが不十分であると、欠乏することでパフォーマンスが低下する一方で、過剰に給与することは有害であり飼料費も高くなります。
(NRC, 2012; Dritz et al., 2019)

微量ミネラル

一般的に豚の飼料中には、亜鉛、マンガン、鉄、銅、ヨウ素、セレンといった微量元素は含まれています。これらの特殊な微量元素は、無機および有機形態(無機形態：硫酸塩、酸化物、塩化物等；有機形態：キレート、タンパク質等)で入手可能です。無機形態は、豚の要求量を満たすために飼料中の中でも広く一般的に使用されています。

胃の健康および成長促進のため、生物学的要求量、薬学的濃度を超えるレベルの無機亜鉛(酸化亜鉛)を離乳豚に使用します。離乳用や育成・肥育用飼料において、成長促進のため高レベルの銅(硫酸銅や三塩基性境界銅)が使用されます。最近の研究では、飼料中に高濃度の銅(220 vs. 20 ppm)を給与すると、産歴に関わらず仔豚の増体が促進したとの結果が示されました。上記試験で対象となった離乳仔豚を用いたその後の試験で、銅の発育促進に対する効果は、全身の銅の状態により変わる可能性があることが示されました(Lu and Lindemann, 2017; Lu et al., 2018)。少なくとも2産にわたる長期的な雌の繁殖性に関する研究において、三ピコリン酸クロムの飼料添加は生存仔豚数を増加させると報告されており、クロムの添加量と期間によりその程度は変わります(Lindemann and Lu, 2019)。動物の飼料における微量元素の添加は、環境への懸念から一部の国では厳しく制限されています(Underwood and Suttle, 1999)。微量元素の添加につきましては、各地域の規制に準拠してください。

無機微量ミネラルと比較すると、有機微量ミネラルは、有機配位子構造のため低 pH 環境下でも安定しています。有機微量ミネラルは、親和性が高く、小腸での吸収率も良いです(Leeson and Summers, 2001)。有機微量ミネラルの方が消化や生体利用率において優れているため、飼料中の含有率を下げて小腸の中で同程度か、より高いパフォーマンスを達成できます(Richards et al., 2010; Liu et al., 2014)。有機微量元素が免疫応答を高め、酸化ストレスを緩和し、骨の発達や強度を強め、母豚の繁殖パフォーマンスを向上させることを示した研究もあります(Peters and Mahan, 2008; Richards et al., 2010; She et al., 2017; Liao et al., 2018)。しかしながら、これらの反応は一貫しておらず、北米では多くの豚に無機微量ミネラルが給与されています(Flohr et al., 2016)。有機セレンだけは例外であり、特に母豚や雄豚の飼料において広く使用されています。

ビタミン

ビタミンは、通常の増体や繁殖のさまざまな代謝経路において(補酵素として)重要な役割を果たしています。最適なパフォーマンスを発揮し、不要なコストを最小限に抑えるためには、適切なビタミンレベルにすることが重要です。一般的にコマーシャル農場レベルでは、NRC(2012)の推奨値を超えるレベルのビタミンが肥育用の飼料には添加されています。米国の養豚業界で実際に使用されている飼料のビタミン添加量と NRC の推奨値を比較した調査が行われました(Flohr et al., 2016)。その調査では、脂溶性ビタミンが離乳用飼料で 4.0~11.6 倍、育成・肥育用飼料で 1.8~6.7 倍多く添加されていました。その他のビタミンでは、離乳用飼料で 0.4~7.1 倍、育成・肥育飼料で 0.7~3.8 倍添加されていました。最新の研究では、1,200 頭の PIC の豚(PIC® 337 × Camborough®)を用いたコマーシャル農場レベルでのウィントウーフイニッシュプログラムにおけるビタミンレベルを試験しました(Thompson et al., 2020)。

原料中ではなく、添加したプレミックス由来のビタミンを調査対象に試験を行いました(表 1)。

- 1) NRC 2012 : NRC(2012)の要求量と同量のビタミンを添加
- 2) PIC 2016 : PIC(2016)の要求量と同量のビタミンを添加
- 3) PIC2016 未満 : PIC(2016)の要求量を下回るレベルのビタミンを添加

表 E1. 5~130kg の豚に対して(配合飼料 1kg 当りに)添加した各ビタミンレベルの比較試験
(Thompson et al., 2020)

試験 体重帯(kg)	NRC 2012		PIC 2016			PIC 2016 未満の場合		
	5-25	25-30	5-25	25-80	80-130	5-25	25-80	80-130
ビタミン A(IU)	2,200	1,300	11,025	6,615	5,510	4,200	2,800	2,800
ビタミン D ₃ (IU)	220	150	1,765	1,215	1,015	1,600	800	640
ビタミン E(IU)	16	11	85	33	28	16	11	11
ビタミン K(mg)	0.5	0.5	5.5	3.3	2.8	3.0	1.5	1.2
チアミン(mg)	1.0	1.0	3.5	---	---	---	---	---
リボフラビン(mg)	3.5	2.0	13.0	5.7	4.9	8.0	4.0	3.0
ピリドキシン(mg)	7.0	1.0	7.0	---	---	---	---	---
ビタミン B ₁₂ (µg)	17.5	5.0	55.0	26.0	22.0	39.0	19.0	15.0
ナイアシン(mg)	30	30	70	40	31	50	25	20
d-パントテン酸(mg)	10	7	40	20	17	28	14	11
葉酸(mg)	0.30	0.30	1.05	---	---	---	---	---
ビオチン(mg)	0.050	0.050	0.275	---	---	---	---	---

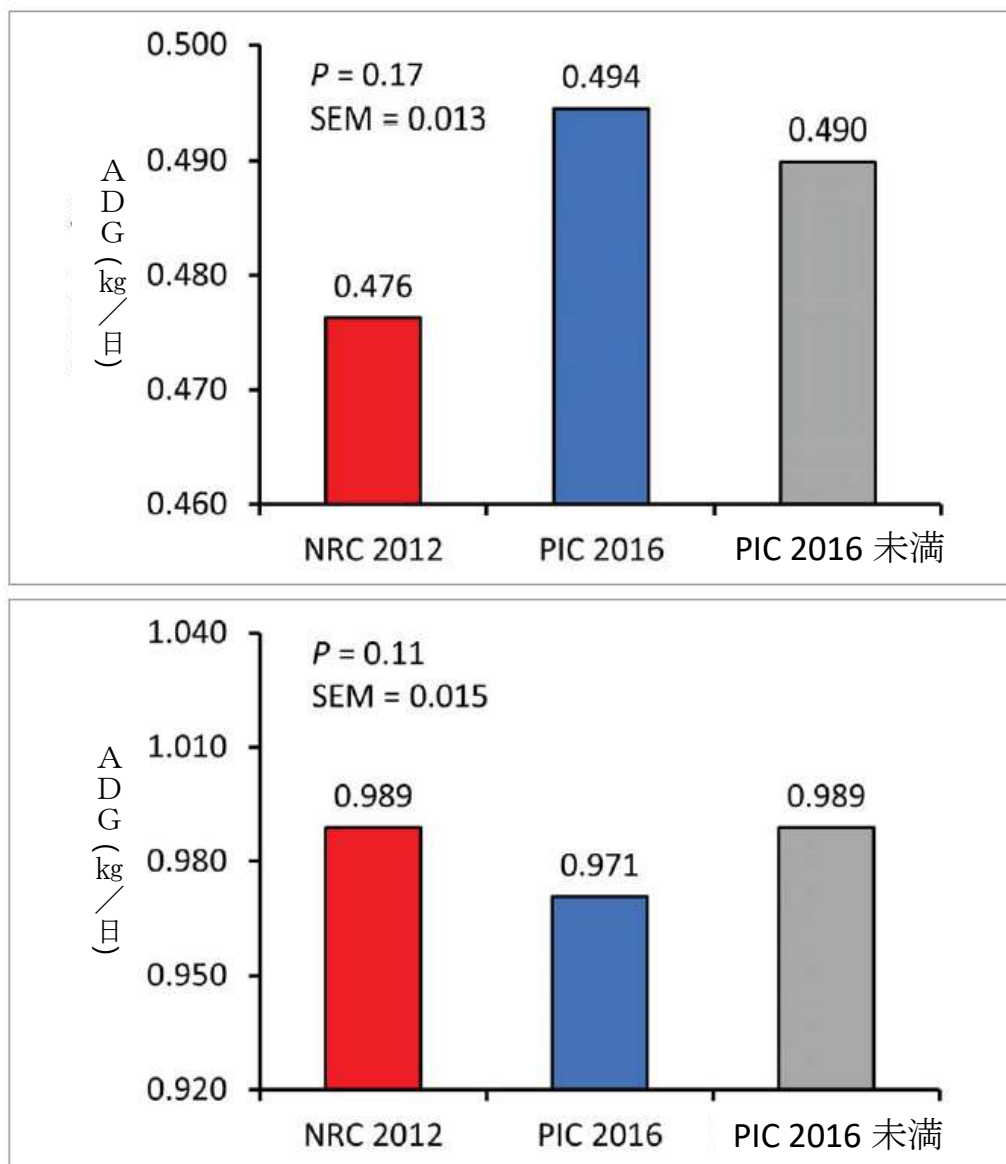


図 E1.離乳(上図)と育成・肥育(下図)のビタミンレベルの違いによる成長パフォーマンスに対する効果(Thompson et al., 2020)

離乳および育成・肥育期(5~128kg)では、各試験間における増体率、食下量、飼料効率に差が生じるとの証拠はありませんでした(図 E1)。Tuffo et al. (2019)でも、同様の結果を報告し、低ビタミンと高ビタミンの飼料を給餌した育成・肥育豚(16~125kg)における全体的な成長パフォーマンスに差異が生じるとの証拠はありませんでした。さらに、Tuffo の試験で使用した低ビタミン飼料における添加ビタミンレベルは、PIC 2016 未満と同程度でした。そのため、直近の 2 つの試験から PIC は添加ビタミンの推奨値を下げ、飼料配合しやすいように微量元素の要求量を調整しました。NRC レベルと差異が生じるとの証拠はありませんが、さまざまな状況下による損失の可能性を考慮したうえで、若干の余裕をみた配合をすることを推奨します。

セクション F

生殖能力のある雄豚



雄の給餌プログラムでは、適切な増体を促進し、繁殖パフォーマンスの最大化、健康な体格の維持、生産寿命の増進を目的としています。

- 雄の給餌管理は、ボディコンディションと環境に合わせ、体重に基づいて調整を行います。
- PIC の雄豚用給餌計算ツールは、検疫期間および稼働期間における栄養レベルの推奨値を算出します。
- 雄の給餌プログラムを成功させるためには給餌管理が重要となります。

雄の給餌

雄豚は、将来の遺伝改良の源であるだけでなく、現在の分娩率や産子数にも影響を与えます。正しく種雄豚へ給餌することは、最適な精液性状と精液量を生産できる十分な栄養補給に重要なだけでなく、種雄豚の乗駕欲、精液の生存能力、生産寿命の長期化にとっても重要です。

種雄豚への給餌において肝心なのは、雄豚の体重減少を防ぐことです。Kemp ら（1989）は、維持エネルギー要求量に満たない飼料を給与すると種雄豚の射出精液量が著しく減少することを報告しています。他方で、栄養の過剰給与や過体重も、種雄豚の体型上の問題や乗駕欲減退の発生率が上昇する原因になります（Wilson et al., 2004）。生産性の低下を招く栄養不足や過剰給与を避けるために、PIC 種雄豚に正しく給餌する方法を理解することが重要です。

種雄豚のエネルギー要求量

種雄豚の 1 日の飼料要求量は 1 日エネルギー要求量によって決まります。種雄豚のエネルギー要求量は、以下のように数種類のカテゴリーに分けられます。

- 維持
- 増体
- 精子生産（検疫時を除く）
- 繁殖行動（検疫時を除く）
- 寒冷環境にいる場合（舎内温度が17℃未満の場合）の熱生産

体重 200 kg の成熟した種雄豚で、目標増体速度 0.5 kg/日、17℃を上回る舎内温度飼育を仮定した場合の、1 日エネルギー要求量の内訳を図 F1 に示します。

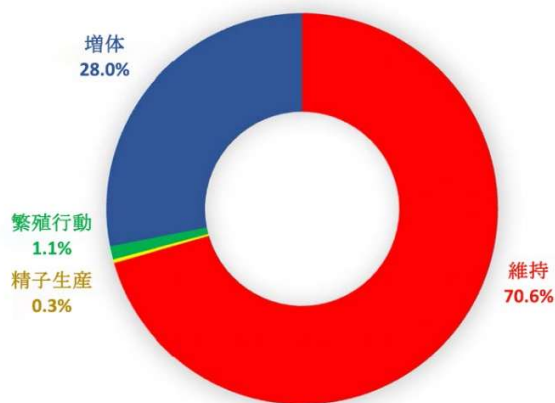


図 F1 体重 200 kg、目標増体量 0.5 kg/日、17℃を上回る舎内温度で飼育する成熟種雄豚の 1 日エネルギー要求量の内訳

維持エネルギー (ME) = $0.1832 \times (\text{体重, kg})^{0.665}$ 、Mcal/日

増体エネルギー (ME) = $4.89 \times (1 \text{ 日増体量, kg})$ 、Mcal/日

精子生産エネルギー (ME) = 0.1 Mcal/日

スノコ床クレート収容時の舎内温度 17℃未満の飼育で温度が 1℃低下した場合に必要なエネルギー (ME) = $0.00382 \times (\text{体重, kg})^{0.75}$ 、Mcal/℃/日

繁殖行動エネルギー (ME) = $0.0043 \times (\text{体重, kg})^{0.75}$ 、Mcal/日

総エネルギー要求量は、主に維持エネルギー要求量と増体量によって決まります。PIC 種雄豚はオンテスト期間中、従来よりも急速に増体しています。1日のエネルギー摂取量を調整することで、種雄豚の増体速度を想定できるため、意図せず AI センターから淘汰される主な原因となる体型的な問題の発生率を低減できると考えられます。

オフテスト終了後の種雄豚の成長速度とその後の生産性に対する給餌水準の影響

PIC では最近、種雄豚を合計 206 頭（PIC 800、初期体重 115 ± 1.9 kg、 141 ± 1.5 日齢）を用いて、140～200 日齢までの給餌を不断給餌または制限給餌にした場合の、将来的な淘汰率と精液生産に及ぼす影響を検討しました（Lu et al., 2022）。種雄豚群の約半数を不断給餌の群飼ペンに収容し、残りの種雄豚群を制限給餌のストールに収容しました。試験を 8 週間継続し、その結果から、群飼した種雄豚では 1 日平均食下量（ADFI）が 3.6 kg/日、1 日平均増体量（ADG）が 1.21 kg/日であるのに対し、ストール収容した種雄豚の ADFI は 2.3 kg/日、ADG は 0.50 kg/日であることが示されました（図 2）。

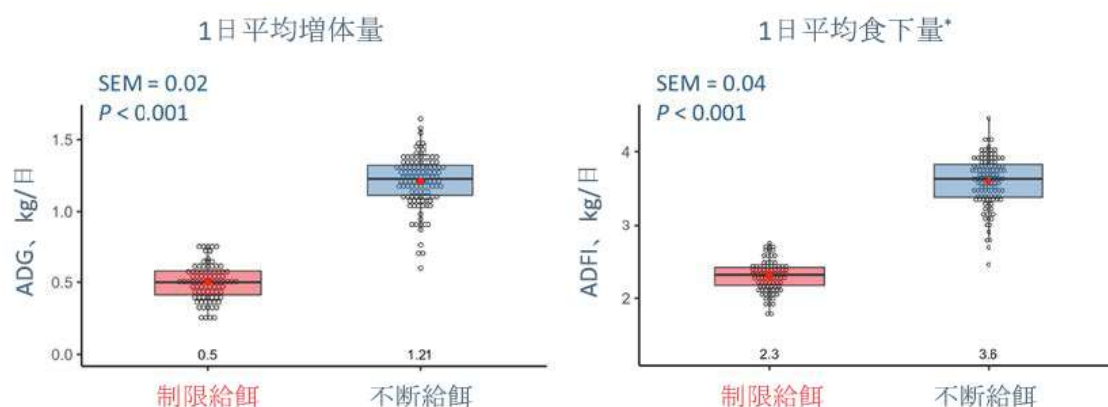
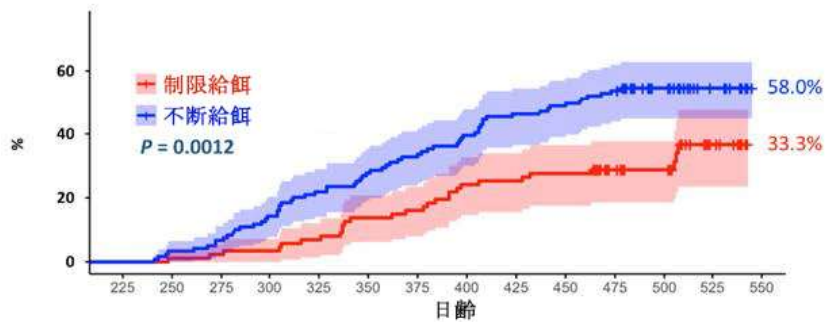


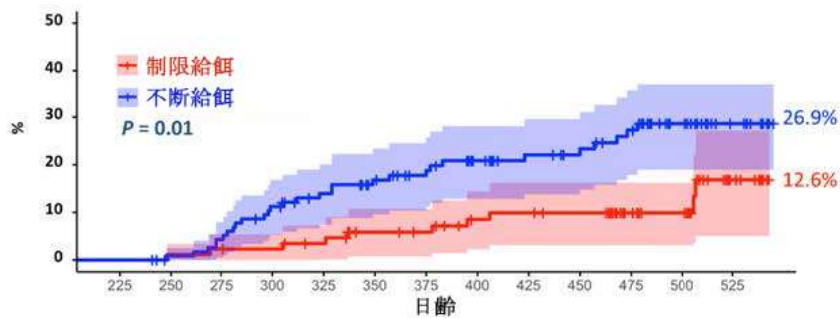
図 F2 140～200 日齢に不断給餌した種雄豚と制限給餌した種雄豚の増体

試験終了後に、これらの種雄豚はさまざまなコマーシャル AI センターに出荷され、継続してその成績が観測されました。その結果から、過去に制限給餌した種雄豚では、不断給餌した種雄豚に比べ、総合的な淘汰率が有意に低いことが示されました（図 F3）。この全体的な淘汰率の相違は、体型に起因する淘汰率の低下によって生じたものです。精液性状の問題による淘汰率には、統計的有意差を示す証拠は認められませんでした。最後に、良質な性状の精液を採取できた割合は、140～200 日齢の不断給餌や制限給餌の影響を受けませんでした。

525日齢までの全理由による 淘汰率^a



525日齢までの体型的理由による 淘汰率



525日齢までの精液性状の理由による 淘汰率

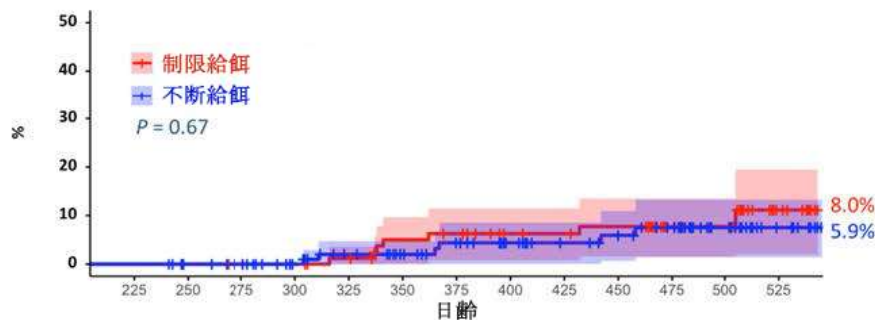


図 F3 525 日齢までの全理由（上）、体型的理由（中）、精液性状の理由（下）による淘汰の割合

検疫時と稼働時の種雄豚への給餌

前述のとおり、種雄豚のエネルギー要求量は到着時の体重と検疫時・稼働時の増体量に大きく左右されます。しかし、AI センターで体重計を用いて雄豚を計量することはほとんどありません。PIC では PIC 体測テープを使用して種雄豚の体重を推定するように推奨しています。左後脇の一番下から雄豚の最上部を通して右後脇の一番下までを計測します（図 F4）。

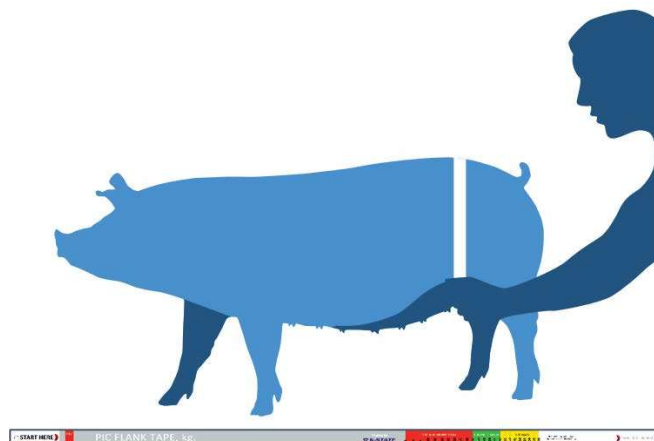


図 F4 PIC 体測テープと両後脇間の計測

AI センター担当者がエネルギー要求量と基礎給餌水準を推定する助けとなるように、PIC Optimum Boar Feeding Tool（雄豚用給餌計算ツール）という双方向型の Web アプリケーションを開発しました（[ツールへのアクセスはここをクリック](#)）。このアプリケーションでは動的モデルを利用して、入力された情報からエネルギー必要量を推定します。推奨する給餌プログラムと、給餌プログラムの実施に役立つ情報が得られます。入力インターフェイスでは、種雄豚の検疫開始時の体重と終了時の体重、検疫期間、雄豚用豚舎の室温、1 週間あたりの採取回数、給餌エネルギー水準を入力するよう求められます（図 F5）。入力した情報から、検疫時種雄豚の推奨給餌水準、さまざまな体重に対応した稼働時の種雄豚の推奨給餌水準が算出されます（図 F6）。現場での雄豚給餌プログラムを簡便に実施できるようにするため、このツールでは体重を 3 つのグループに分けて、各体重グループに対し 1 つの給餌水準を推奨します。AI センター担当者は、各雄豚の体重情報が得られれば、個々の雄豚に適した給餌水準を簡単に求めることができます。

図 F5 PIC Optimum Boar Feeding Tool（雄豚用給餌計算ツール）の入力インターフェイス

本ガイドラインは 2025 年に発行された PIC® NUTRITION AND FEEDING GUIDELINES をイワタニ・ケンボロー（株）が翻訳したものです。可能な限り原文に忠実に訳をしておりますが、翻訳の正確性を保証するものではありません。英語原文のガイドラインに関しては、PIC の HP をご覧ください。 <https://www.pic.com/resources/nutrition>

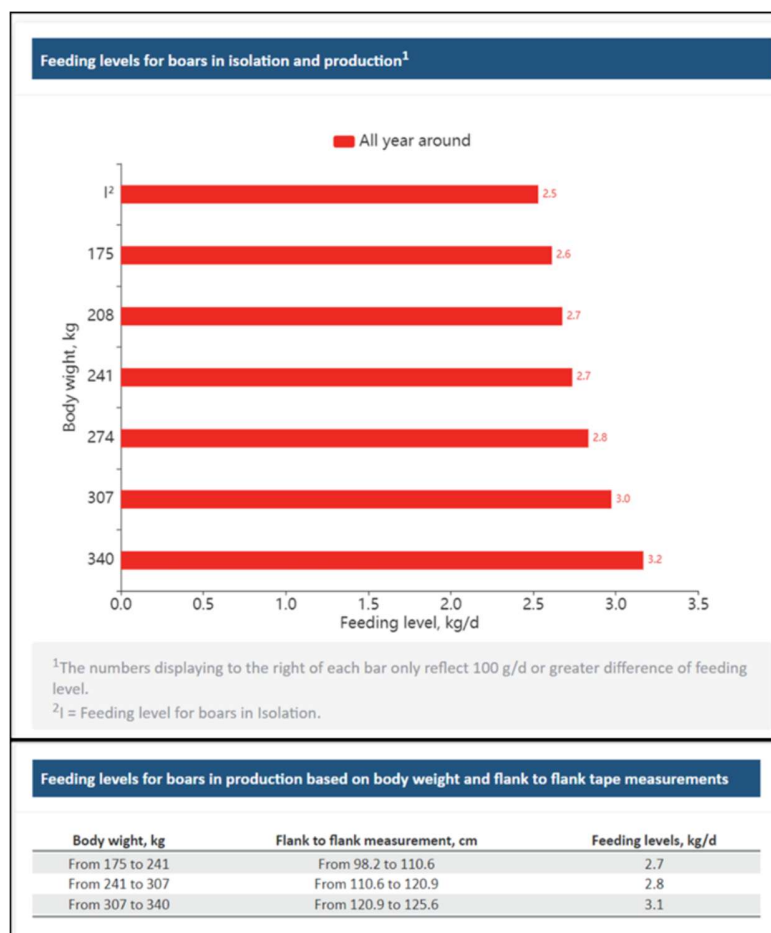


図 F6 PIC Optimum Boar Feeding Tool（雄豚用給餌計算ツール）の出力インターフェイス

PIC 雄豚給餌プログラムを成功に導くための注意点

給餌器の校正

ほとんどのコマーシャル AI センターでは、稼働時および／または検疫時にホッパー式給餌器を使用して種雄豚を制限給餌しています。ホッパーから正確に給餌されることを必ず確認してください。以下のような、いくつかの要因が給餌の精度に大きく影響します。

- ホッパー式の給餌器のブランドとモデル：ホッパー式の給餌器のメーカーが異なる場合、個別に校正する必要があります。
- 飼槽に対する落下式の給餌器の角度：飼槽に対して常に90°の位置にホッパー式給餌器を配置するように設計されています。
- 飼料のかさ密度：飼料の配合が異なると、かさ密度が変わることが多いため、給餌器の設定を調整して飼料を同じ重量で供給する必要があります。
- 飼料タンクから飼料落下位置までの距離：飼料の移動距離が長くなるほど、飼料の落下量が少なくなることを示す証拠があります。

PIC では、生産者が一貫した正確な方法で校正を実施できるように Feed Box Calibration Tool（給餌器校正ツール）を開発しました（[ツールへのアクセスはこちらをクリック](#)）。

ボディコンディションに合わせた給餌水準の調整

ボディコンディションに合わせて種雄豚に給餌することは、繁殖成績と生産寿命を最適化するために非常に重要です。そのため、[PIC Optimum Boar Feeding Tool](#)（雄豚用給餌計算ツール）による給餌水準の推奨値は、種雄豚を理想的なボディコンディションにする基礎給餌水準と考えられますが、この推奨値はボディコンディションスコア評価に代わるものではありません。現在、種雄豚のボディコンディションスコア評価に役立つキャリパーはないため、ボディコンディションスコアは目視評価のみに基づいています。そのため、PIC では、目視によるボディコンディション評価と、それに応じた給餌水準の調節を推奨しています。痩せの種雄豚には、基礎給餌水準に加えて 1 日あたり 0.25～0.50 kg 余分に給餌し、過肥の種雄豚では給餌水準を減らしますが、その場合でも少なくとも 0.11 kg/日以上以上の推定増体量を達成する必要があります（図 F7）



図 F7 目視によるボディコンディションスコアが異なる種雄豚

PIC 種雄豚の給餌リソース

PIC の栄養チームと雄繁殖チームは以下の項目を詳細に説明したトレーニング資料を作成しました。

- PIC Optimum Boar Feeding Tool（雄豚用給餌計算ツール）を支える予測モデル（[こちらをクリック](#)）
- PIC雄豚給餌プログラムを実施するための実用的なヒント（[こちらをクリック](#)）
- 種豚場でのボディコンディションスコア評価と管理に関する実用的なヒント（[こちらをクリック](#)）
- PICによる種豚場の推奨事項（[こちらをクリック](#)）
- 雄豚の種豚場従業員のトレーニングビデオ（[こちらをクリック](#)）

種雄豚の繁殖成績を最適化するその他の栄養上の注意点

マイコトキシン汚染された飼料を摂取すると、種雄豚の繁殖成績に悪影響を及ぼす可能性があります。ゼアラレノン汚染（0.57 ppm）された飼料を給与した 10 ヶ月齢を超える種雄豚では、マイコトキシンを含まない飼料を給与した種雄豚と比較して、射出精液量と精子運動率が低下しました（Sutkevičienė et al., 2009）。さらに、ゼアラレノン汚染された飼料を給与した場合、テストステロンの減少により、若齢および成熟した種雄豚の乗駕欲が減退します（Berger et al., 1981; Ruhr et al., 1983）。

タンパク質摂取量による精液性状への影響は示されていません。タンパク質摂取量が低い場合、乗駕欲の低下と精液量の減少を招く可能性が、Louis ら（1994a, b）によって示されています。Kemp（1988）によると、妊娠豚に給与する量[リジン 0.68%を含む粗タンパク質（CP）14.5%]以上に飼料タンパク質量を増やしても、精子生産を利することはありませんでした。一般的に、標準化回腸消化率（SID）リジン 0.62%の給与で、成熟した種雄豚の繁殖成績を維持するためには十分と考えられます。若齢種雄豚（生

後 11 ヶ月未満) では、リジン濃度が高いほど繁殖成績が向上する可能性があります。推奨される飼料中亜鉛濃度範囲は 100~150 ppm です。推奨濃度を超える有機形態の亜鉛を給与しても、精液量も精液性状も改善しませんでした (Althouse et al., 2000)。実験データを入手できませんが、多くの場合、ビオチンが 200~300 mg/t 添加されています (Tokach and Goodband, 2007)。有機セレンが 0.3 ppm 含まれる場合、連続採取した後の精子運動率の維持、精液保存による精子運動率への悪影響の低減、および体外受精率の向上に役立つ可能性を示す証拠がいくつか認められています (Speight et al., 2012)。

高濃度フィターゼを給与した場合の影響は明らかではありません。Stewart ら (2016) が実施した研究では、高濃度フィターゼの給与 (Quantum® Blue 飼料中 2000 FTU/kg) により、種雄豚 1 頭が 1 年間に生産した精液量が 11% 増加したことが報告されています。しかし、別の高濃度フィターゼ給与試験 (Quantum® Blue 飼料中 500、2000、および 3000 FTU/kg) では、生産された総精子数と精液量に差を示す証拠は認められなかったため (Moreira et al., 2016)、さらなる研究が必要です。

リノレン酸、エイコサペンタエン酸、ドコサヘキサエン酸などのオメガ 3 脂肪酸は、種雄豚の精液性状に好ましい影響を及ぼすと思われます。リノレン酸から十分なエイコサペンタエン酸とドコサヘキサエン酸が代謝されます。オメガ 3 脂肪酸 31% を含むサプリメント 0.29 kg/日を追加で添加し 16 週間給餌した種雄豚では、1 射精あたりの総精子数が 11% 増加したと報告されています (Estienne et al., 2008)。最近の研究では、夏季にベタイン 96% を含むサプリメント 16.3 g を給与した種雄豚で、総精子生産量が 6% と、わずかに有意な増加が報告されています (Cabezón et al., 2016)。最近の別の研究では、L-アルギニン 0.8~1.0% を補給することで、酷暑期の精液性状と乗駕欲の改善が示唆されています (Chen et al., 2018)。

さらに、さまざまな給与量での L-カルニチン添加により、種雄豚の精子性状に異なる影響が生じています。Baumgartner (1998) と Wähner ら (2004) は、種雄豚に L-カルニチンをそれぞれ 500 mg と 230 mg の補給した場合に、精液量と精子濃度が上昇したことを報告しています。逆に、Kozink ら (2004) は、若齢種雄豚ではそのような改善を認めなかったと報告しています。Jacyno ら (2007) の研究では、L-カルニチン 500 mg を毎日補給した結果、射出精液量、精液濃度、精子形態、アスパラギン酸アミノトランスフェラーゼ活性の向上などの、精液性状が改善しました。しかし、Balogun らが実施した研究 (2022) では、このような好ましい影響は観察されませんでした。Balogun らの研究では、L-カルニチン 625 mg を 12 週間毎日、種雄豚に追加で給与しましたが、カルニチンが射出精液量や精液性状に影響を及ぼす証拠は認められず、精子の運動にわずかな変化が示されたのみでした。

まとめ

種雄豚の体重の把握は、エネルギー要求量を推定し、基礎給餌水準を定めるために重要です。PIC では、検疫時または稼働時に種雄豚の増体状態を維持し、毎日 14.5 g 以上の SID リジンを給与することを推奨します。定期的に種雄豚のボディコンディションを評価し、それに応じて給餌水準を調節します。最後に重要なこととして、ホッパー式給餌器を定期的にチェックし、校正する必要があります。[PIC Optimum Boar Feeding Tool](#) (雄豚用給餌計算ツール) と [Feed Box Calibration Tool](#) (給餌器校正ツール) は、雄豚給餌プログラムを円滑に実施し、AI センターで高い繁殖成績を達成するための良好なリソースです。

セクション G

育成候補豚



生涯の生産性を最大化するために育成候補豚への給餌をするとき、その目標は、適切な発育、十分なミネラルの摂取と骨格形成、繁殖基幹の成熟、健康的な足と歩様を持たせることが重要となります。

- 候補豚初回交配時の目標:
 - 初回発情日齢: 195 日齢以下
 - 初回交配日齢: 200～225 日齢
 - 体重: 135～160 kg
 - 交配時の発情回数: 2 回目(候補豚の体重が 135 kgの未満の場合のみ 3 回目)
 - 繁殖に供するための骨の発達やビタミン量の強化をしたうえで 600～800g/日の生涯平均増体量
- 候補豚育成用飼料と肉豚雌用の飼料は異なります
- これらの目標は生涯生産性を上げ、生涯飼料コストを低減させるために重要です

候補豚育成に関する目標

候補豚の育成・管理は、候補豚の育成初期から始まり、最初の授乳期間が完了したときに終わります (Boyd et al., 2002)。候補豚育成プログラムを成功させるためには、様々な要素に目を向けなければなりません。初回発情日齢や初回交配日齢、体重、初回交配までの発情回数は、候補豚在庫や母豚群を正常に維持するために重要な要素となります(表 G1 参照)。

候補豚の初回発情は 195 日以下である必要があります。理想的な初回交配日齢の範囲は、200～225 日齢で、体重は 135～160kg の範囲、2 回目の発情(体重が軽い場合のみ 3 回目)であることが必要です。体重が 135kg 未満の候補豚では、軽すぎであり、産子数が低下する恐れがあるため交配をするべきではありません。また、160kg を超えた体重での交配も、維持コストの増加や授乳期での体重ロスの増加、足悪発生率の増加、早期淘汰の増加などの恐れがあるため、避けるべきです。初回交配時における日齢と体重両方の目標を達成するために、初回交配までの生涯 ADG は 600～800g/日であることが求められます。候補豚及び母豚の管理に関するガイドラインや詳細な情報については、次の URL にアクセスしてください。

<https://www.pic.com/resources/gilt-sow-management-guidelines-english/> (※日本語版についてはイワタニ・ケンボロー欄までお問合せください。)

表 G1. 候補豚初回交配時の目標

項目	目標
初回交配時の発情回数	
最低でも	2 回目
体重	
軽過ぎる(交配しない)	< 135 kg
適正	135-160 kg
重過ぎる	> 160 kg
初回交配までの生涯 ADG (g/日)	
最低	600
最高	800
初回交配日齢(日)	
最低	200
最高	225
初回発情日齢(日)	
	<195

候補豚の給餌管理に関する推奨事項

候補豚の初回交配時の目標を達成するために、PIC では生時から初回交配まで不断給餌による管理を勧めています。候補豚に対するリジン：カロリー比には、PIC プログラムによる肉豚雌に対する推奨値をもとに調整したものを使用しています。飼料中のエネルギーレベルを調整することによって発育を調整することも可能です。骨のミネラル化を最大にすることは、候補豚育成において、最重要なポイントのひとつです。育成候補豚には、育成肥育期の肉豚に対するよりも高いレベルのカルシウムとリンを与える必要があります(Whitney and Masker, 2010)。PIC の肉豚を使った最近の調査(Vier et al., 2019b)によると、候補豚育成に必要なリン濃度は、肉豚雌の場合よりも、骨のミネラル化を最大化するために約 8% 高くなります。

まとめると、育成候補豚の飼料と肉豚雌の飼料における重要な違いは、：

- 1) 高レベルのカルシウムとリン
- 2) 高レベルのビタミンと微量ミネラル
- 3) 繁殖のために特に必要なビタミンの追加(ピリドキシン、葉酸、ビオチン)

育成候補豚の栄養に関するより詳細な情報については、本ガイドラインのセクション M 「栄養規格表」を参照してください。

候補豚育成専用の飼料を作ることができない場合には、既存の他の飼料を活用することができます。表 G2 は、育成候補豚の給餌プログラムの例を載せています。

表 G2. 育成候補豚の給餌プログラムの例

	育成候補豚の体重 (kg)		
	23～60kg	60～90kg	90～交配
GDU ^a 用の飼料または肉豚雌用の飼料もしくは授乳期用飼料		GDU 用の飼料を使います。 ひとつまたは複数種類の飼料をこの体重帯で使用可能です。	GDU 用の飼料を使用するほか、妊娠期用飼料も多くの農場で使用されています。

^aGDU = 候補豚育成舎 (Gilt developing unit)

育成候補豚の管理に関するより詳細な情報については PIC 候補豚・母豚マニュアルを参照してください。次の URL にアクセスしてください。 <https://www.pic.com/resources/gilt-sow-management-guidelines-english/> (日本語版についてはイワタニ・ケンボロー(株)までお問合せください。)

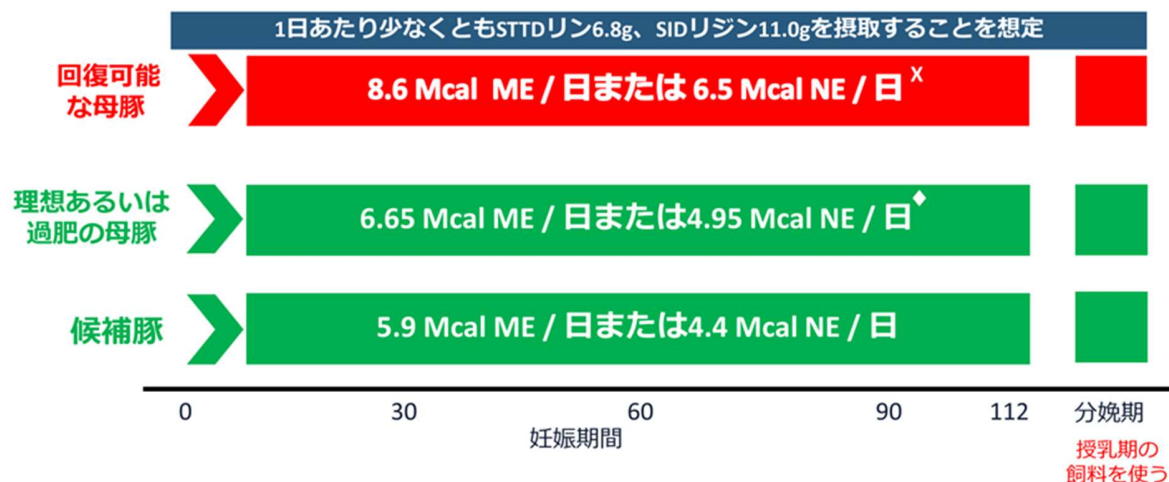
セクション H

妊娠期の候補豚及び経産豚



妊娠期における給餌管理の目標は母豚のボディコンディションを管理し妊娠状態の維持や母体の発育に加え胎盤や乳腺、子宮、胎内の仔豚を発達させるための十分な栄養を供給することです。

- ボディコンディションの管理：
 - 経産豚のボディコンディションは、妊娠期の給餌管理の適切さに左右されます(図 H1)。
 - 候補豚は体が大きいことも体重がより重いこともあります、必ずしも過肥とは限らないことにご注意ください。PICでは、妊娠期中にボディコンディションによって候補豚を分類して給餌することを推奨していません。妊娠期を通じて、候補豚への給餌量は **5.9 Mcal ME (維持エネルギー)/日** または **4.4 Mcal NE (正味エネルギー)/日** を下回らないようにしてください。
 - 分娩時に理想的なボディコンディションの母豚の頭数を最大化できるように、キャリパーを使って母豚のボディコンディションスコアを測ってください。繁殖成績と母豚の生産寿命を改善できるように、PIC 母豚のボディコンディションを正確に評価するキャリパースコアの範囲は更新されています。
- 妊娠前期：
 - 維持飼料レベル未満の給餌は行わないようにし、また維持飼料の 2 倍を超えるレベル、または **10.0 Mcal ME/日** もしくは **7.5 Mcal NE/日** を超える給餌も避けましょう。
 - 群飼が開始されてから、もしくは ESF に移動されてから数日間は、個体ごとの食下量を確認しましょう(特に初産と 2 産)。母豚が給餌器に気づいて、給餌器が正しく使われていることを確かめるためです。スタンションやフリーストールを使う場合には、毎日飼料を与えるときに、各ペンで競争に負けている母豚がいいるか確認しましょう。
 - もし群飼が開始されてからすぐに攻撃的な行動などが見られる場合には、5 日間を超えない範囲で 1 頭につき 1 日当り最大 **3kg** まで飼料を増やしましょう。
- 妊娠後期：
 - 妊娠後期の候補豚に増飼しないでください。
 - 妊娠後期の経産豚にも増飼しないでください。ただし、キャリパー測定で痩せと回復可能(カテゴリー 1 と 2)と評価された母豚を除きます。このような場合、痩せた母豚や回復可能な母豚には、そのボディコンディションに基づいて、より高い給餌レベルで給餌します(図 H1)。
- 分娩前後：
 - 授乳期の飼料を妊娠期に与えていたレベルと同じだけ給餌します。
 - 分娩介護スタッフが限られている場合には、給餌の頻度を上げることで死産率を低減することにつながります。最後の給餌から分娩までの時間の短縮によるものです。



^x 分娩予定の母豚で、回復可能または痩せの割合をモニターします。この割合が 10% を上回る場合、給餌プログラムの再検討をする必要があります。

* 候補豚は体が大きかったり体重が重かったりすることもあります。過肥ではないことにご注意ください。PIC では、ボディコンディションによって候補豚を分類して給餌することを推奨していません。妊娠期を通して、候補豚への給餌を 5.9 Mcal ME/日または 4.4 Mcal NE/日より少なくしないでください。

[†] 過肥の母豚への給餌を 5.9 Mcal ME/日または 4.4 Mcal NE/日より少なくしないでください。妊娠期において過肥の母豚のボディコンディションを調整することはとても難しいです。過肥のリスクカテゴリーに分類される分娩予定の母豚の割合をモニタリングしてください。

◆ 候補豚の平均交配体重が 160 kg未満の場合、母豚のベースレベルは 5.9 Mcal ME / 日 または 4.4 Mcal NE / 日で設定できます。

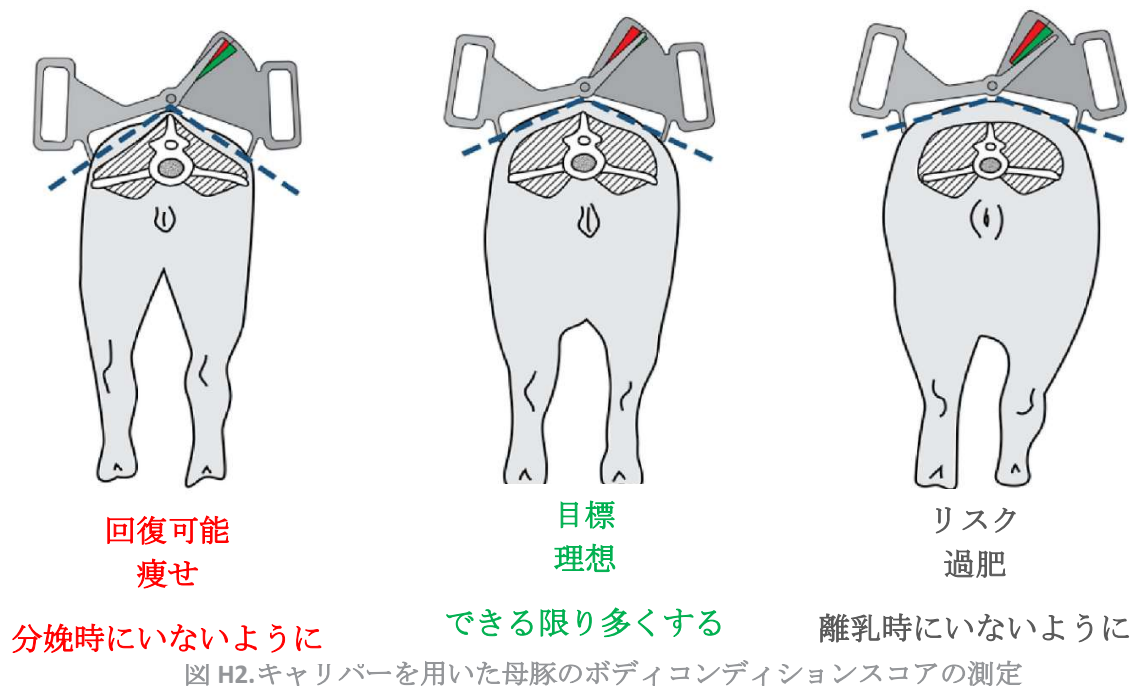
図 H1. PIC の候補豚(上)と経産豚(下)に対する妊娠期間の給餌に関する推奨

母豚のボディコンディショニングの管理

- 痩せた母豚も過肥の母豚も繁殖成績が低下し、群から淘汰されるリスクが高まるため、最適なボディコンディショニング管理が重要です。
- 分娩時に「回復可能」カテゴリーに入る母豚と離乳時の過肥の母豚の数を最小限に抑え、分娩時に目標値の母豚の数を最大限に増やします。
- 繁殖成績と母豚の生産寿命を改善できるように、PIC 母豚のボディコンディショニングを正確に評価するキャリパースコアの範囲は更新されています。
- PIC では、妊娠中にボディコンディショニングによって候補豚を分類して給餌することを推奨していません。

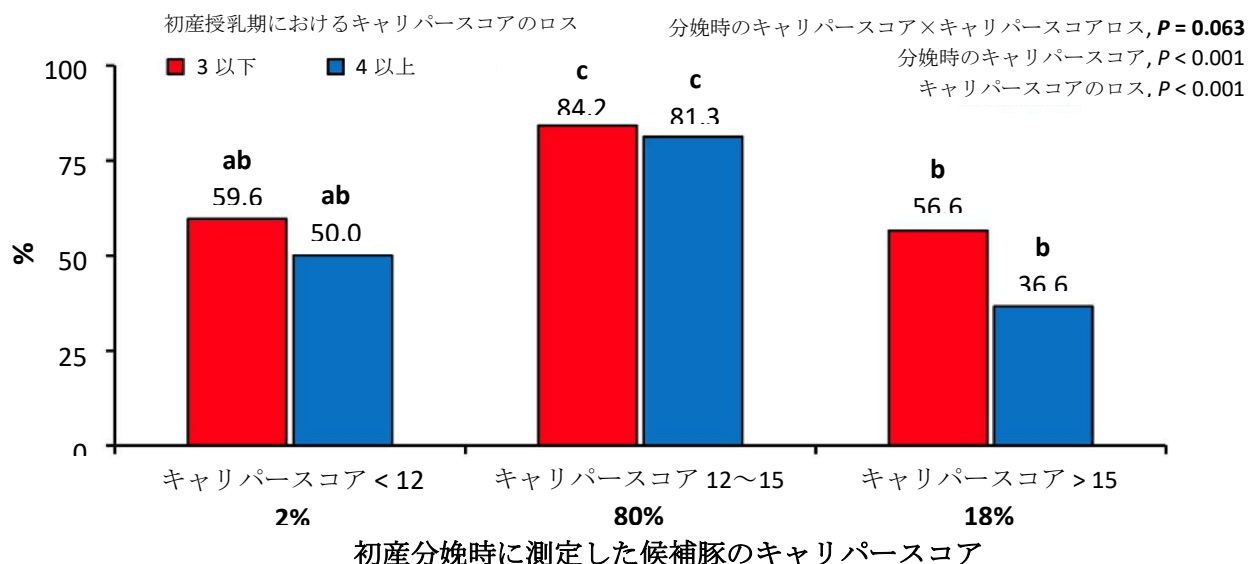
高いパフォーマンス出す繁殖農場の特徴のひとつは、母豚のボディコンディショニングを適切に管理していることです。目標は、母豚を適正なボディコンディショニングに維持すること、分娩時に痩せた母豚をなくすこと、離乳時に過肥の母豚を限りなく少なくすること、母豚の個体間のばらつきを減らすことです(図 H2)。

母豚のボディコンディショニングを測るには、目視によるスコアリングや背脂肪測定、キャリパーなどの方法があります。PIC では、母豚のボディコンディショニングの測定にはキャリパーを使うことを勧めています。ボディコンディショニング管理に関する情報については、[ここにアクセスしてください](#)。交配時の候補豚は体が大きいことも体重が重いこともあります、必ずしも過肥であるとは限りません。そのため、PIC は候補豚を妊娠中にボディコンディショニングで分類し、給餌管理の変更をすることは推奨しません。候補豚の初回交配時の目標を達成することの重要性を改めて強調しておきたいと思います。経産豚の場合、ボディコンディショニング管理は、給餌プログラムの実施で成功を収めるために最良で重要な要素ですが、群全体を理想的な状態に調整するためには、分娩舎から少なくとも 1 サイクル分の時間をかける必要があります。妊娠期におけるボディコンディショニングの急激な変化を避けるために、母豚の給餌プログラムは段階的に穏やかに実施する必要があります。



群のパフォーマンスを最大限に高め、母豚の適正なコンディションを向上させ、最適な経済的成果をもたらすために、目標値の母豚が望めます。過肥の母豚は、飼料の面でコストがかかり、授乳期のパフォーマンスも良くなく、その後の繁殖成績も低下します。また、分娩時間が長くなり(Oliviero et al., 2010)、死産率も上昇することがあります(Goncalves et al., 2016; Mallmann et al., 2019)。授乳期の食下量は、母豚のボディコンディションが過肥であるときには減少し(Sinclair et al., 2001)、大きな体重ロス、初乳量や泌乳量の低下(Foisnet et al., 2010; Decaluwé et al., 2013)、仔豚の離乳時体重の低下につながります。この授乳期における負のエネルギーバランスは、次回分娩以降の総産子数の低下にも影響する恐れがあります(Eissen et al., 2000; Thacker and Bilkei 2005)。さらに、約 4,500 頭の候補豚を使用して行った観察研究によると、初回分娩時に測定したキャリパスコアと、初回授乳中のキャリパスコアロスが、母豚の生産寿命に影響します(Huerta et al., 2021、図 H3)。初回分娩時のキャリパスコアが 12~15 の候補豚は、キャリパスコアが 12 未満または 15 を上回る候補豚と比べて、3 産目までの保持率が高くなりました。前述の通り、PIC では候補豚のボディコンディションの分類や給餌レベルの管理を目的に、キャリパーやいかなる方法も使用することを推奨していません。しかし、初回授乳期中のキャリパスコアの変化を推定する助けとして、初回分娩時の候補豚にキャリパーを利用できます。

3 産までの母豚保持率



a,b,c グラフバーは、異なる文字が付くバーと有意差があることを意味する(P < 0.10)

図 H3. 初産分娩時に測定した候補豚のキャリパスコアと初産授乳期でのキャリパスコアのロスに基づく 3 産目までの保持率(Huerta et al., 2021)

反対に、痩せの母豚は、肩部病変の増加(Bonde et al., 2004; Zurbrigg, 2006; Knauer et al., 2007)、跛行の増加(Bonde et al., 2004; Knauer et al., 2012)、高い死産率リスク(Vanderhaeghe et al., 2010; Thongkhuay et al., 2020; Gourley et al., 2020)に関連することが報告されています。Waltrich et al. (2022)の研究結果では、分娩時に痩せた母豚の割合が 10% 増すごとに、骨盤臓器脱などのリスクが 20% 上昇すると推定されています。この観察結果は、ブラジルの商業生産システムから得られた 7,300 件および 26,773 件の観察データ、ならびに PIC 社内データという 2 つの信頼性の高いデータセットと一致しています。これらの情報源はいずれも、分娩時に測定したキャリパーユニットと母豚の生産寿命との間に関連があることを一貫して示しています。具体的には、分娩前にキャリパーバージョン 1 の計測器で 15 ユニット未満の値を示した雌豚は、骨盤臓器脱による淘汰のため、次のサイクルまで生存する可能性が低下していました。

PIC の雌系品種の改良目標は進化してきました。繁殖形質のほか、育成肥育生存率や強健性、増体効率、枝肉形質といった雄系品種の形質の約 40% が、雌系品種の改良形質の中にも含まれています。結果として、現在の PIC のケンボロー®は、過去と比べてより効率的な母豚となり、直近 10 年間で雄系品種と同程度の割合で増体速度が上がり、過去の母豚よりも痩せ型です。このような増体と体組成の変化に加え、広範なデータ評価による繁殖成績と母豚の強健性の裏付けから、PIC 母豚のキャリパースコアの範囲とカテゴリーが更新され、目標値の範囲のステッカーが、現行版より 1 キャリパースコア上昇しました(表 H1、図 H4)。

表 H1. ボディコンディションカテゴリー別及び Mark Knauer 母豚用キャリパーのバージョン別に示した、原版のキャリパースコア範囲と更新後の PIC キャリパースコア範囲。すべてのキャリパーバージョンで、キャリパースコアのカウントが 1 から始まる点に注意してください。

カテゴリー	ボディコンディション	キャリパーバージョン 1		キャリパーバージョン 2		キャリパーバージョン 3	
		Knauer のオリジナルの範囲	PIC の更新版範囲	Knauer のオリジナルの範囲	PIC の更新版範囲	Knauer のオリジナルの範囲	PIC の更新版範囲
1	痩せ	< 9	< 10	< 5	< 6	< 6	< 7
2	回復可能	9～11	10～12	5～7	6～8	6～8	7～9
3a	離乳時の目標値	12～15	13～14	8～11	9～10	9～12	10～11
3b	分娩前の目標値		15～17		11～13		12～14
4	過肥	> 15	> 17	> 11	> 13	> 12	> 14

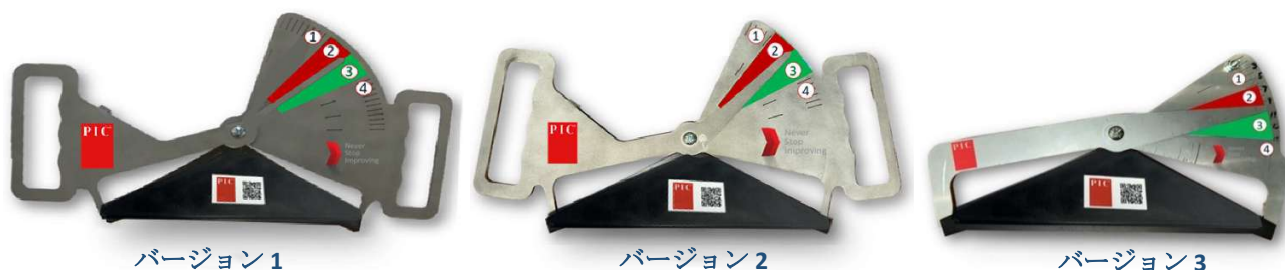


図 H4. あらゆる金属製のキャリパーバージョンやオリジナルバージョンのステッカーを調整するための、更新した PIC キャリパースコアのカテゴリーと校正器。ご使用のキャリパーに適した更新キットについては、イワタニ・ケンボローの担当者にお問い合わせください。（日本では 2025 年時点ではバージョン 1 のみ取り扱っております）

キャリパースコア用の PIC の更新版範囲には、4 つのカテゴリーがあります(図 H5)：

1. リスク：痩せている状態
2. 回復可能：目標値を下回った状態
3. 目標値：理想的な状態
 - ・ 3a：離乳時の目標値
 - ・ 3b：分娩前の目標値
4. リスク：過肥の状態

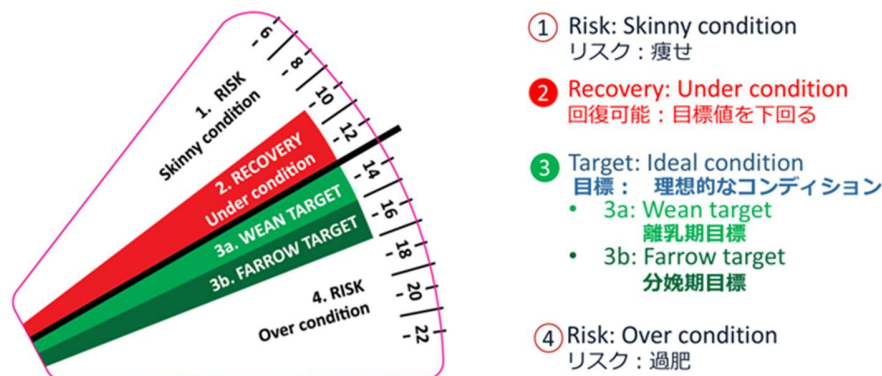


図 H5. PIC キャリパーの範囲およびボディコンディションカテゴリーを反映した最新版 PIC キャリパーステッカー

これらのカテゴリーは、妊娠期における 2 つの異なる給餌レベルに対応しています。

カテゴリー 1 および 2 :

PIC は、1 日あたり 8.6 Mcal ME または 6.5 Mcal NE の摂取を推奨しています。カテゴリー 1 の母豚は、次回の分娩までに理想的な体況に到達する可能性が低いいため、栄養管理以外にも追加の管理介入を検討する必要があります。

カテゴリー 3a、3b、および 4 :

PIC は、1 日あたり 6.7 Mcal ME または 5.0 Mcal NE の給餌を推奨しています。過肥の母豚に対して、理想体況の母豚よりもさらに給餌量を制限することは推奨していません。妊娠中に摂取量を減らしても、過肥の母豚の体況には大きな影響がなく、維持エネルギーを下回る給餌は逆に悪影響を及ぼす可能性があります。これらの母豚は通常、授乳期に体況を減らすため、次のサイクルで再び過剰給餌しないよう注意が必要です。望ましい体況に到達するには、1 回以上の繁殖サイクルが必要となる場合があります。

候補豚の平均交配体重が 160kg 未満の場合、カテゴリー 3a、3b、および 4 の母豚には妊娠期を通じて 1 日あたり 5.9 Mcal ME または 4.4 Mcal NE の基本給餌量を使用できます。

妊娠中の候補豚および母豚には、SID リジン 11g/日以上、STTD リン 6.8g/日以上 の摂取を推奨します。

追加のガイダンス :

- 妊娠期のいずれの段階でも、キャリパー（バージョン 1 スケール）で 13 ユニットの測定値はカテゴリー 2 と 3a の間に該当し、給餌管理上は「回復可能」扱いとします。
- 分娩時にキャリパーカテゴリー 3b を達成することで、骨盤臓器脱などのリスクが低減します。
- 分娩予定時にカテゴリー 1、2、3a の母豚の割合が 30% を超える場合、特に死亡率や骨盤臓器脱などの発生率が高い農場では、給餌プログラムの実施状況を見直す必要があります（図 H6 参照）

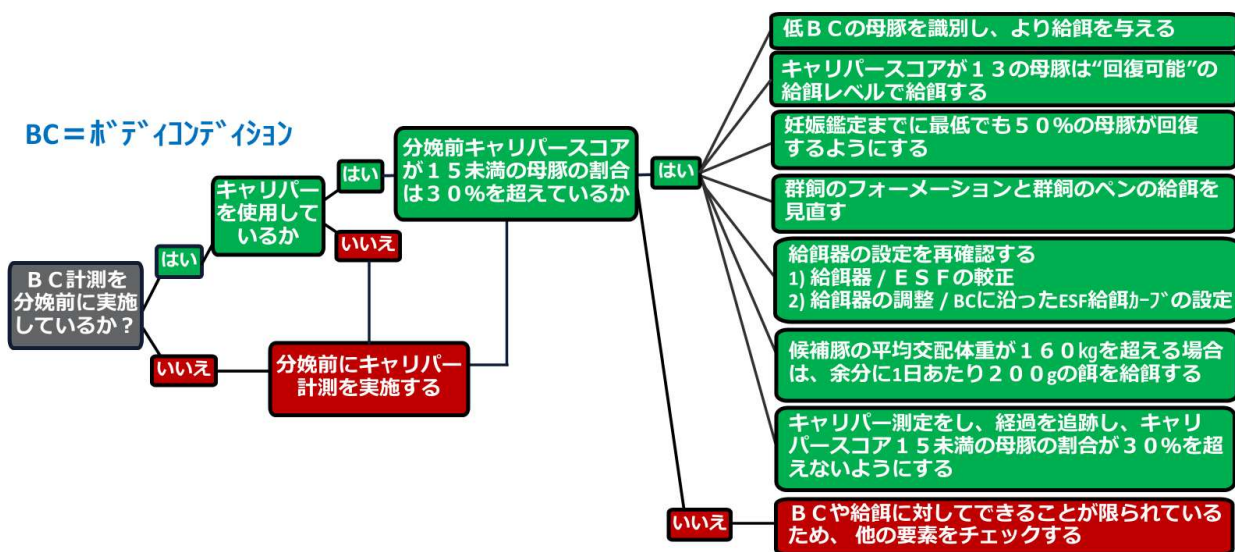


図 H6. 死亡率または骨盤臓器脱などの発生率が高い農場において、分娩予定の母豚がカテゴリー1、2、3a に該当する割合が 30% を超える場合の給餌プログラム実施状況を見直すための意思決定ツリー

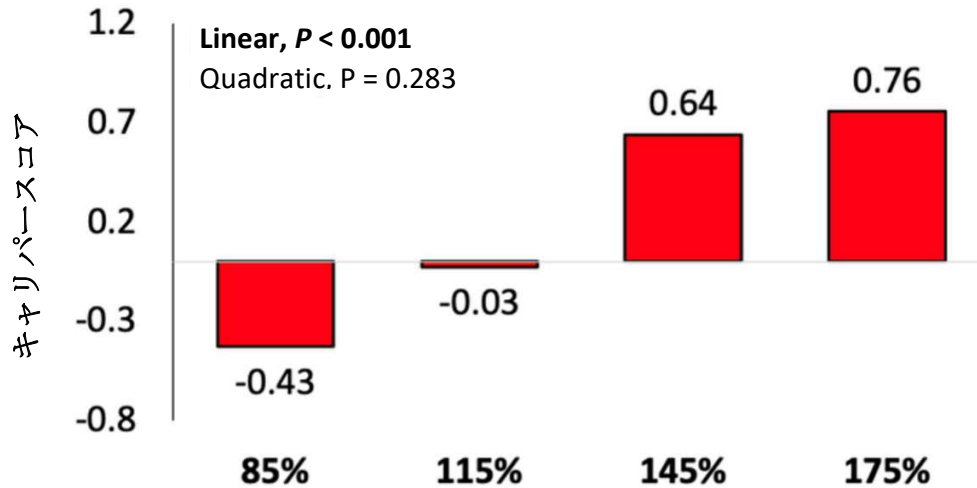
候補豚では、その遺伝的な増体能力により、同一齢でも体重がより重い場合がありますが、過肥ではないことに留意すべきです。すなわち、候補豚はまだ成長段階であるため、ボディコンディションによる分類をせずに、妊娠期を通して給餌量を 1 日当たり 5.9 Mcal ME または 4.4 Mcal NE を下回らないようにしてください。PIC は、交配時や妊娠期の候補豚にキャリバーを使用して給餌レベルを管理することを推奨しません。ただし、初回授乳期中のボディコンディションのロスを推定するために分娩時の候補豚に使用する場合を除きます。

最近の研究では、妊娠前期(Lu et al., 2022、636 頭の ケンボロー® 母豚を使用)と妊娠中期(Knauer et al., 2020、200 頭のケンボロー® 母豚を使用)の PIC 母豚における標準的な維持代謝可能エネルギー (ME_m) 要求量を予測する際に、NRC(2012)モデルを評価しました。NRC (2012)のモデル式：ME_m kcal/日 = 100 × (体重、kg)^{0.75} によって計算された異なるレベルの ME_m 要求量を満たす 1 日給餌量で母豚に給与しました。最終的に、妊娠 6～35 日目に ME_m の 85%、115%、145%、175% を給与した場合と、交配後 36～46 日目の間に ME_m の 80%、90%、100%、110% の給餌を開始し 28 日間にわたり給与した場合の 2 つの試験で構成されました。

妊娠前期に給餌量を増やすと、離乳から妊娠 35 日目までに体重ロスが減少し(それぞれ -13.8、-10.3、-4.7、及び -0.5 kg) (linear, P < 0.05)、キャリバースコアの増分(それぞれ -0.43、-0.03、0.64、及び 0.76 スコア)が増大しました(Lu et al., 2022、図 H5)。妊娠中期に、母豚のボディコンディションのキャリバースコアを維持するための ME_m の結果は、NRC (2012) ME_m 要求推定量の 98.7% であることが示されました(図 H6)。試験期間中、すべての試験区の母豚において増体が見りましたが(それぞれ 0.10、0.26、0.42、及び 0.44 kg/日)、妊娠期 40～60 日目は、羊水の増加がみられる時期であり、これが増体に影響している可能性があります(Bazer et al., 2012)。

妊娠前期の試験

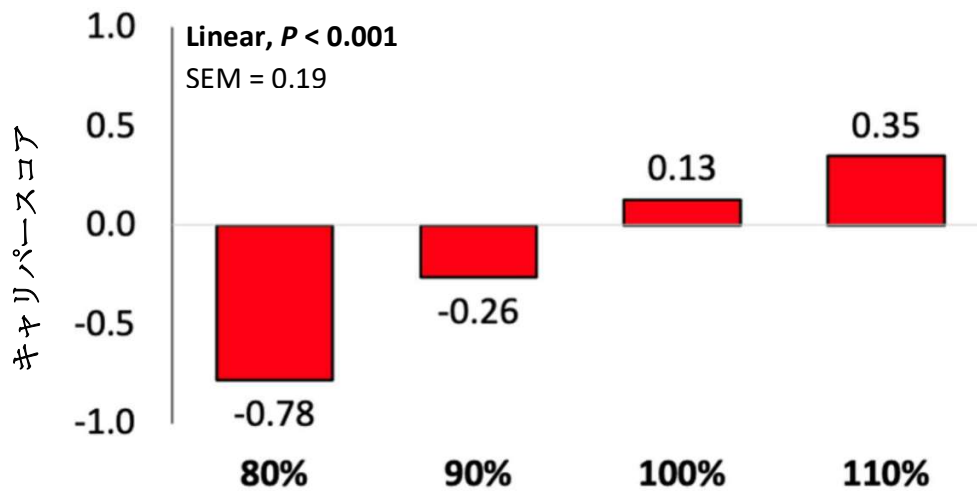
母豚のキャリパースコアの変化(離乳～妊娠 35 日目)



MEEm モデル式により推定されたエネルギーレベル(%)

妊娠中期の試験

母豚のキャリパースコアの変化(試験の 0～28 日目)



MEEm モデル式により推定されたエネルギーレベル(%)

図 H7. NRC (2012)のモデル式 : $\text{MEEm kcal/日} = 100 \times (\text{体重, kg})^{0.75}$ によって計算された MEEm の 85%、115%、145%、175% レベルのエネルギーを与えた母豚での妊娠前期のキャリパースコア変化(上グラフ)と、MEEm の 80%、90%、100%、110% レベルのエネルギーを与えた豚での妊娠中期のキャリパースコア変化(下グラフ)。妊娠 6 日目から開始、または妊娠 36～46 日目から開始して 28～29 日間給餌(Lu et al., 2022 and Knauer et al., 2020 より引用)

これらの試験で得られた情報を使用して妊娠期中のキャリパースコアの変化を推定し、妊娠期の給餌に関する現行の推奨事項の規準にしました(図 H1)。痩せ母豚と回復可能な母豚に対する推奨レベルで給餌すると、妊娠期全体でキャリパースコアが 3 スコア分増えると推定されます。推奨の基本給餌レベルで給与しても、妊娠期を通してキャリパースコアの変化には至らないでしょう。これらの推定は、交配時の候補豚体重 155 kg を想定した母豚群、または平均体重 200 kg の母豚群の想定に基づいています。妊娠前期に使用する回帰式は以下の通りです。離乳時の目標値の母豚の場合：1 日当りのキャリパースコアの変化 = $-0.06864788 + 0.53216 \times [(ME \text{ 摂取量, Mcal/日}) \div (\text{体重, kg})^{0.75}]$ 、離乳時の回復可能な母豚の場合：1 日当りのキャリパースコアの変化 = $-0.0285892 + 0.53216 \times [(ME \text{ 摂取量, Mcal/日}) \div (\text{体重, kg})^{0.75}]$ 。Knauer et al., (2020)の報告に基づいた、妊娠 31～90 日目に使用する回帰式は、次の通りです。1 日当りのキャリパースコアの変化 = $1.35 \times (ME \text{ 摂取量, Mcal/日}) \div [(\text{体重, kg})^{0.75} - 0.1332]$ 。最近の複数の PIC のコマーシャル農場調査研究によると、候補豚と経産豚は、給餌レベルに関わらず、91 日目から分娩までにキャリパースコアが 1 スコア分ロスするようです。そのため、妊娠後期まで母豚のボディコンディションを良好に保つこと、または妊娠後期までにボディコンディションを回復することの重要性を強調しておきたいと思います。

妊娠期間中の推定体重に応じた候補豚及び経産豚の給餌レベルの評価

現在の雌系品種の発育性と効率性は、長年にわたって改良されてきました。これらの改良により現代の候補豚や経産豚は、より大きく、体重も重くなり、その結果、維持のためのより高いエネルギーレベルを必要とすることになります。PIC ケンボロー® の候補豚と経産豚を使った計 6,859 回の観察結果を含む 2 つのデータベースにおいて、交配または妊娠 4 日目の時点及び妊娠期 112 日目時点の体重測定結果を分析しました。それによると、妊娠期の体重増加の 30% は交配から 60 日目まで、70% は 61 日目から 112 日目までに発生したと推定されました。二次方程式を適用して、妊娠日数の関数としての体重変化を産歴カテゴリーごとに記述しました(Orlando et al., 2023、表 H2)。

表 H2.産歴カテゴリー別に母豚の体重と妊娠日数との関係を推定する方程式の係数¹

	P0 (初産)	P1 (2 産)	P2 (3 産)	P3 (4 産)	P4 (5 産)	P5 (6 産)
切片	156.330078	186.503595	215.217902	225.690852	225.951249	237.868392
a	0.072676	0.031931	0.023887	-0.028135	0.025689	0.022266
b	0.004348	0.003519	0.003389	0.002636	0.002300	0.001967

¹ 母豚の体重 kg = 切片 + (a x 妊娠日) + (b x 妊娠日²)

さらに、各サイクルにおける母豚の正味増体を推定する方程式(増体量 kg = $0.5357 \times \text{産歴}^2 - 8.8929 \times \text{産歴数} + 35.857$)を用いて、交配時の候補豚の体重を基に離乳時の母豚の体重を求めました。続いて、交配時の候補豚のさまざまな体重(144 kg、155 kg、166 kg)をシミュレートして、妊娠期全体での各産歴カテゴリーにおける母豚の体重と MEm を推定しました(2022、図 H8)。

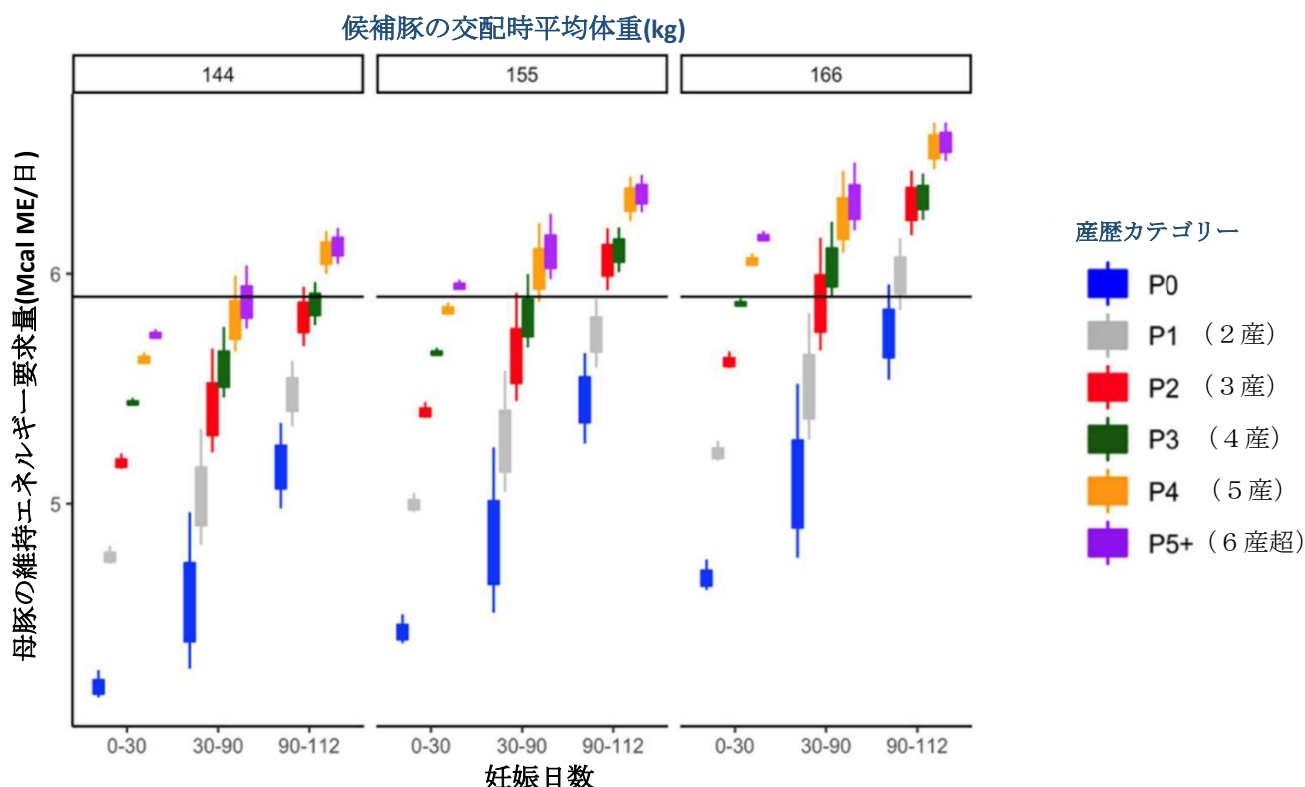


図 H8.NRC(2012)モデルを基にした母豚の維持エネルギー要求量(産歴別)。交配時の候補豚の異なる平均体重(144 kg、155 kg、166 kg)によるシミュレーションに基づく。横線は、1日当たり 5.9 Mcal ME の給餌レベルを示す。この値は、候補豚、目標値の母豚、過肥の母豚の PIC 基本給餌推奨レベルを示す。黒色の横線より上にある候補豚と経産豚の観察結果は、前提とする 5.9 Mcal ME/日の給餌レベルに基づくと、維持レベルに満たない給餌であることを示す。

基本給餌レベル(5.9 Mcal ME/日または 4.4 Mcal NE/日)での母豚への給餌を前提としているため、交配時の候補豚の体重が 144 kg の場合、妊娠 90～112 日目以降にのみ維持レベルに満たない給餌となるのは 5 産目以上の母豚のみと推定されます。交配時の候補豚の平均体重を 155kg まで増やすと、妊娠期全体で維持レベルに満たない給餌となるのは 6 産目以上の母豚、妊娠 30 日目以降から維持レベルに満たない給餌となるのは 5 産目の母豚、妊娠 90～112 日目以降から維持レベルに満たない給餌となるのは 3 産目と 4 産目の母豚です。交配時の候補豚の体重が 166 kg の場合、妊娠期全体で維持レベルに満たない給餌となるのは 5 産目以上の母豚、妊娠 30 日目以降から維持レベルに満たない給餌となるのは 3 産目と 4 産目の母豚、妊娠 90 日目以降から維持レベルに満たない給餌となるのは 2 産目の母豚です。

このように、候補豚の交配時の平均体重を把握することは重要です。増体に対する遺伝的能力の向上により、PIC は目標値の母豚および過肥の母豚に対して、1 日あたり 6.7 Mcal ME または 5.0 Mcal NE の給餌レベルを推奨しています。この基本給餌レベルは、群の平均体重が重い場合に母豚への給餌不足のリスクを減らすことを目的としています。これは、体重の重い候補豚が将来的に体重の重い母豚になることを考慮したものです。なお、候補豚の平均交配体重が 160kg 未満の場合は、目標値および過肥の母豚への基本給餌レベルは、妊娠期間を通じて 1 日あたり 5.9 Mcal ME または 4.4 Mcal NE とすることができます。

妊娠前期の給餌管理

- 維持エネルギーの要求量を下回らないようにしましょう。
- 維持エネルギーの要求量の 2 倍または 1 日当りの 10.0 Mcal ME もしくは 7.5 Mcal NE を超えないようにしましょう。

妊娠前期のさまざまな給餌レベルが候補豚及び経産豚の胚の生存率、血漿プロゲステロン濃度、総産子数に及ぼす影響を評価した、さまざまな試験の結果を表 H1 にまとめました。過去の研究において、交配後の高い食下量は胚の生存率の低下につながる事が分かり、母豚給餌量は制限されてきました(Jindal et al., 1996)。これに反し、最近の研究では給餌が制限された母豚における胚の生存率や産子数の低下を確認しています(Athorn et al., 2013; Langendijk et al., 2017)。最新の研究において、Mallmann et al. (2020)では、痩せた 2 産目の母豚は、妊娠期 6~30 日目までで中レベルの給餌量まで(5.7 Mcal ME/日 VS 7.8Mcal ME / 日=維持レベルの 108% VS 150%のとき) に対し、良く反応し総産子数の増加が見られました。本論文の著者は、10 Mcal ME / 日以上を給与された候補豚や経産豚では総産子数が減少することを確認しました。

表 H3.妊娠前期の異なる給餌レベルによる胚の生存率や血漿プロゲステロン濃度、総産子数に及ぼす影響に関する研究のまとめ

論文	交配後 日数	離乳時 または 交配時 体重(kg)	Me _m , Mcal/ 日	食下量(kg/日)		対 ME _m 割合(%)		対照区と試験区の差(%) (対照区に対する試験区の割合)		
				対照区	試験区	対照区	試験区	胚 生存率	分娩率	総 産子数
Jindal et al., 1996 ^a	1-15	116	3.52	1.91	2.59	146	200	-17.9	-	-
Wu et al., 2009 ^a	1-35	-	-	-	-	120	200	-18.7	-	-
Athorn et al., 2013 ^a	0-10	126	3.76	1.50	2.81	115	215	19.5	-	-
Langendijk et al., 2015 ^a	10-11	103	3.22	0.00	2.49	0	223	-	-	23.9
Virolainen et al., 2005 ^b	1-35	252	6.32	2.00	3.99	89	179	-34.8	-	-
Hoving, 2012 ^b	3-35	170	4.71	2.49	3.31	165	215	-	-14.7	15.2
Mallmann et al, 2020 ^b	6-30	197	5.26	1.81	2.49	108	150	-	0.9	0.0
Mallmann et al, 2020 ^b	6-30	197	5.26	1.81	3.22	108	192	-	-7.1	-7.5
Ribas et al., 2022 ^{b,c}	5-30	213	5.58	1.59	2.81	85	150	-	-8.4	1.9
Ribas et al., 2022 ^b	5-30	200	5.31	1.81	2.72	100	175	-	2.0	0.7
Lu et al., 2022 ^b	6-30	216	5.65	1.59	3.22	85	175	-	4.4	-2.5

^a 候補豚のみを用いた試験

^b 経産豚のみを用いた試験

^c 雄系品種の母豚を用いた試験

ESF システムを用いた群飼の場合、個体の食下量をチェックしましょう。特に候補豚や 2 産目においては、群飼してから最初の数日間が重要です。同様に、スタンションやフリーストールを使う場合には、毎日飼料を与えるときに、競争に負けている母豚がいらないか確認しましょう。また、群飼後に攻撃的な行動が見られた場合には、経産豚または候補豚当りの給餌量を最大 3 kg まで増やします。研究により、群飼してから数日経つと攻撃的な行動が減少することが推察されました。そのため、母豚の過剰な体重増加とならないように 5 日以内に割り当てる給餌量を増やしましょう。

妊娠後期の給餌管理

- ボディコンディションに合わせた給餌を続けます。
- キャリパースコアが得られない場合は、前期の給餌レベルを維持します。

NRC(2012)では、総産子数が1頭増えるごとに妊娠期1～90日目及び90～114日目では、それぞれ1日あたりの必要SIDリジンが0.10gと0.35g増えるとしています。栄養推奨値には、更新が必要なほど大きな変化はありません。複数の研究においては、食下量を上げることによる候補豚と経産豚の繁殖成績の改善を確認することはできませんでした(Ampaire and Levesque, 2016; Buis et al., 2016; Gonçalves et al., 2016b; Greiner et al., 2016; Mallmann et al., 2019; Anderson et al., 2023; Blanco et al., 2023)。このことは、母豚の妊娠期間中に必要栄養値の変化があったとしても、母豚は比較的大きな食下量範囲の中で体組織を動員することで柔軟に対応することができることを示しています。それゆえ、実際の農場においても多くで妊娠期には1種類の飼料だけを使っており、適正なボディコンディションの母豚に対しては変わらない給餌量を与えることは、農場の管理をよりシンプルにできるメリットがあります。

妊娠後期の候補豚及び経産豚における食下量の増加に関する研究をそれぞれ表H4と表H5にまとめています。データによると、妊娠後期に1日当り1kgの追加飼料を候補豚と経産豚に与えた場合に、それぞれ体重が約7.8kgと8.9kg増加したことが分かっています。また、妊娠後期の増飼の仔豚の生時体重に与える効果は、候補豚では大きなものではなく(11.6g)、経産豚においてほとんど変わりはありません(-1.1g)。

表 H4.候補豚における妊娠後期の増飼による母豚の体重と仔豚生時体重への影響に関する研究結果のまとめ

論文	交配後 日数	試験対象 腹数(n)	総 産子数 (n)	対照区 Mcal ME/日	対照区 SID リジン g/日	食下量 増加 Mcal ME/日	SID リジン 食下量 g/日	項目別増加量	
								追加飼料 1kg/日当りの 母豚の期間 増体(kg)	仔豚の 生時体重の 増加(g)
Shelton et al., 2009	90	21	14.3	6.8	11.9	9.8	17.1	6.6	86
Soto et al., 2011	100	24	12.5	7.0	9.87	12.9	18.2	NR	126
Goncalves et al., 2016	90	371	14.2	5.9	10.7	8.9	10.7	5.6	24
Goncalves et al., 2016	90	371	14.2	5.9	20.0	8.9	20.0	9.1	28
Greiner et al., 2016	100	65	13.4	5.9	9.0	8.8	14.0	NR	-120
Ampaire and Levesque, 2016	90	17	13.4	7.2	12.3	8.6	14.5	24	-10
Mallmann et al., 2018	90	50	14.4	5.9	11.7	7.2	14.3	6.5	6
Mallmann et al., 2019	90	243	14.1	5.9	11.5	7.6	14.7	6.4	26
Mallmann et al., 2019	90	242	14.3	5.9	11.5	9.2	17.9	8.8	-1
Mallmann et al., 2019	90	246	14.3	5.9	11.5	10.9	21.1	7.9	-11
Blanco et al., 2023	90	407	18.8	6.6	11.5	8.9	15.5	10.5	10
平均 ^a	---	---	15.1	6.1	12.8	9.0	16.3	8.2	11.6

表 H5.経産豚における妊娠後期の増飼による母豚の体重と仔豚生時体重への影響に関する研究結果のまとめ

論文	交配後 日数	試験対象 腹数(n)	総産 子数 (n)	対照区 Mcal ME/日	対照区 SID リジン g/日	食下量 増加 Mcal ME/日	SID リジン 食下量 g/日	項目別増加量	
								追加飼料 1kg/日 当りの母豚の 期間増体(kg)	仔豚の 生時体重の 増加(g)
Shelton et al., 2009	90	32	12.4	7.9	11.9	11.4	19.9	4.9	-109
Soto et al., 2011	100	51	12.9	7.9	11.2	13.9	19.5	NR	-69
Goncalves et al., 2016	90	181	15.1	5.9	10.7	8.9	10.7	9.0	47
Goncalves et al., 2016	90	181	15.3	5.9	20.0	8.9	20.0	10.8	19
Greiner et al., 2016	95	128	14.7	5.9	9.0	8.8	14.0	7.1	-40
Mallmann et al., 2018	90	221	15.4	5.9	11.7	7.2	14.3	9.0	-4
Anderson et al., 2023	90	73	15.7	5.09	8.9	6.5	11.5	NR	0
Anderson et al., 2023	90	73	16.4	5.09	8.9	8.0	14	NR	0
平均 ^a	—	—	15.1	6.0	12.3	8.6	14.9	8.9	-1.1

^a 各試験における腹数ベースの加重平均。

PIC では、2016 年に経産豚に対する妊娠後期の増飼を推奨しないこととしました。Goncalves et al. (2016) の研究によると、妊娠後期の増飼は、仔豚の生時体重には僅かな改善しかもたらさず、経産豚においては増飼をしなかった場合と比べて、死産率が 2.1% 増加しました。しかし、候補豚においては、死産率の増加は見られませんでした(図 H5)。また、アミノ酸食下量よりも、エネルギー摂取量の増加が仔豚生時体重の僅かな増加に寄与しています(Gonçalves et al., 2016)。

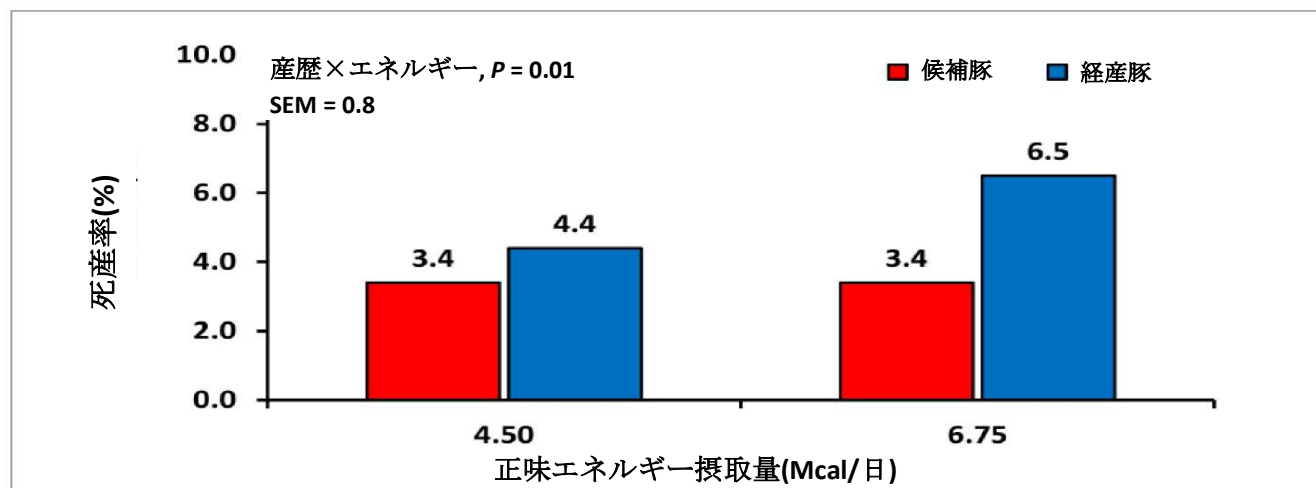


図 H7.妊娠後期の増飼は経産豚における死産率を 2.1% 増加させるが候補豚では影響がない(Gonçalves et al., 2016)

候補豚 977 頭を使用した最近の調査では、妊娠 90 日目～分娩までの食下量を増加(1.8 kg、2.3 kg、2.8 kg、3.3 kg/日の 4 グループ、2.50 Mcal NE/kg 及び SID リジン 0.64% の飼料)させると生存仔豚の生時体重が僅かに増加したことが確認されました(Mallmann et al., 2019)。しかしながら、妊娠後期における 1.8 kg/日を超える 1 日当り食下量は死産率を大きく増加させます(表 H4)。さらに 1.8 kg/日を超える食下量は、初乳泌乳量や授乳期食下量の減少(線形 $P < 0.05$)、妊娠後期食下量増加による授乳期体重ロスの増加も確認されました(線形 $P < 0.05$)。

表 H6. コマーシャル農場における妊娠後期の食下量増加による候補豚の授乳期の成績への影響¹

項目	食下量 kg/日				SEM	確率 P =	
	1.8	2.3	2.8	3.3		Linear	Quadratic
死産率(%) ²	3.4 ^a	4.6 ^b	5.5 ^b	4.2 ^b	0.52	--	--
初乳(kg) ³	3.6	3.5	3.3	3.2	0.26	0.016	0.703
任意の食下量(kg/日) ³	4.2	4.1	3.8	3.9	0.23	0.001	0.165
授乳期の体重変動(%) ³	-8.1	-9.3	-11.3	-10.4	0.75	<0.001	0.169

¹ 計 977 頭の母豚(ランドレース×ラージホワイト)を使用。それぞれ 244 頭、242 頭、241 頭及び 250 頭の母豚に 1.8、2.3、2.8 及び 3.3 kg/日の食下量とした。表は、Mallmann et al., 2019 より引用。

² ノンパラメトリック分析を使用。

³ 計 245 頭の母豚(ランドレース×ラージホワイト)を使用。それぞれ 61 頭、66 頭、55 頭、63 頭の母豚に 1.8、2.3、2.8、3.3 kg/日の食下量とした。

^{a,b} 各行の異なる文字間には有意差がある(P<0.05)。

これらの母豚は 4 産目まで観察されました(図 H8)。候補豚時の妊娠 90 日目以降の食下量の増加は、4 産目までの保持率の低下をもたらし、生涯使用日数も減少しました。よって、候補豚における妊娠後期の増飼は、早期淘汰のリスクを増加させる可能性があり、それは母豚の生涯生産寿命に悪影響を及ぼします(Mallmann et al., 2019 より引用)。

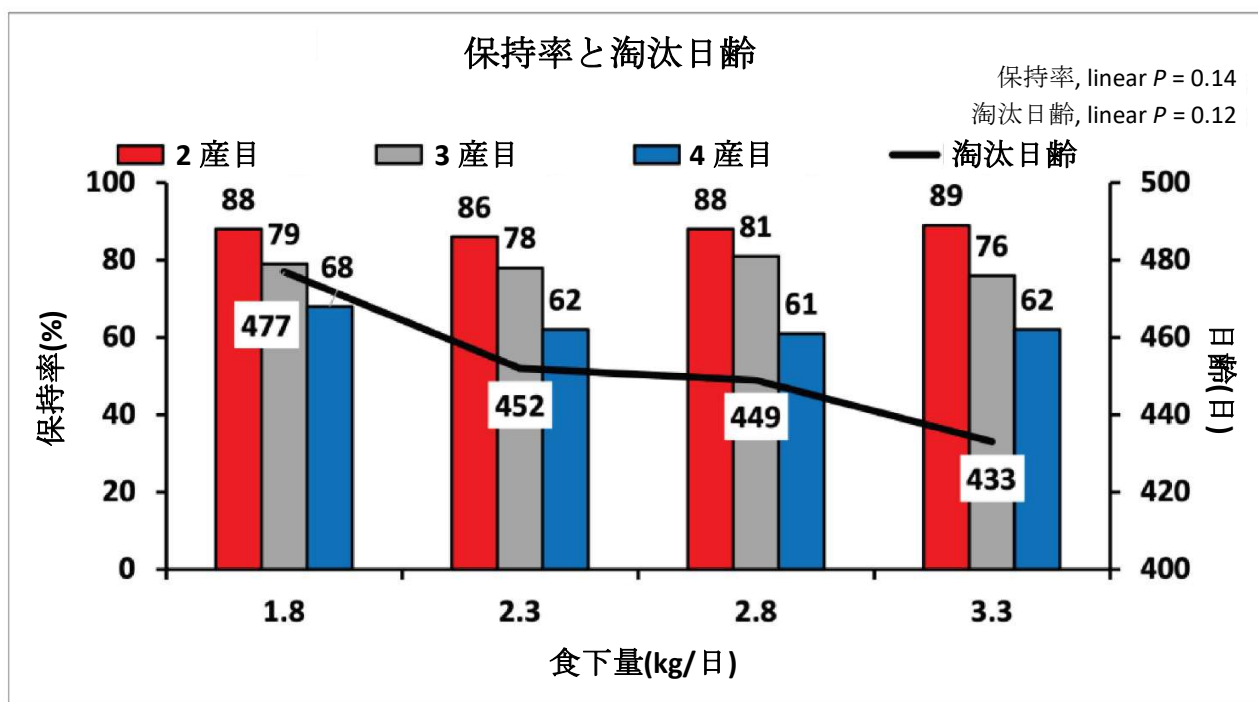


図 H8. 初産豚の妊娠後期(妊娠期間の最後 3 分の 1)の食下量増加によるその後の保持率と淘汰日齢への影響

PIC では、候補豚及び経産豚両方への妊娠後期の増飼を勧めません。これは、妊娠後期の増飼は、仔豚の生時体重に僅かな改善しかもたらさないためです。実践上の観点では、この僅かな改善は、死産率の増加や授乳期食下量の減少、保持率の低下などの悪影響と比べて、メリットがほとんどありません(Gonçalves et al., 2016; Mallmann et al., 2018, 2019, Blanco et al., 2023)。しかし、痩せた母豚や目標値を下回る母豚など、妊娠後期のキャリパースコアが回復可能な母豚には、引き続きボディコンディションに合わせた給餌を用いるため、より高い給餌レベルの適用となります。

PIC 及び協力する世界中の大学や農場では、産子数や生時体重への食下量の影響を引き続きモニターしていきます。

リジン要求量 - 最近の進歩

PIC の候補豚及び経産豚 936 頭を対象とした試験では、妊娠期に SID リジン食下量が 11 g から 18.5 g に増加することにより母豚の増体につながったものの、背脂肪厚には変化が見られないことが示されました(Thomas et al., 2021)。1 日 SID リジン食下量を 11 g を超えて増加させても、仔豚の出生時体重と繁殖成績への影響は最小限でした。ただし、SID リジン 18.5 g/日を給与した母豚では死産率が 2.3 パーセントポイント低下しました。

PIC の候補豚及び経産豚 583 頭を対象としたその後の試験では、5.9 Mcal ME/日の給餌量で同様のリジンレベル(1 日当りの SID リジン 11.1、13.5、16.1、18.5 g)を評価しました(Lu et al., 2022)。観察結果から、仔豚や母豚の繁殖成績にリジンが影響を及ぼす証拠は示されませんでした。しかし、リジン食下量に関わらず、妊娠期に母豚で体重ロスが生じ、授乳期に約 70% が増体することを確認しました。この試験で使用した母豚は、試験開始時の体重が著しく重く(平均体重が候補豚で 190 kg、経産豚で 230 kg)、妊娠期に必要な維持エネルギー量よりも少ない給餌であった可能性が示されています。

PIC の候補豚及び経産豚 704 頭を対象とした後続の試験では、妊娠期を通じて母豚への維持エネルギー要求量を下回る給餌を防ぐために推定した 7.5 Mcal ME/日の給餌をしながら、SID リジン食下量を 1 日当り 11 g から 18.5 g に増やした場合の影響を評価することを目的としました(Orlando et al., 2024)。リジンの食下量に関係なく、母豚では妊娠期に増体し、母豚の約 70% が授乳期に体重ロスをきたしました。妊娠期に 1 日当り飼料中 SID リジン食下量を増やしても、母豚の繁殖成績や授乳期の仔豚のパフォーマンスに有益となる証拠は観察されませんでした。そのため、PIC では妊娠期の候補豚と経産豚に必要な SID リジン食下量を最低 11 g/日として推奨しています。

カルシウムとリンの要求量 - 最近の進歩

NRC (2012) は、候補豚に必要な標準総消化管可消化リン(STTD P)食下量として 6.0 g/日 を推奨しています。必要な STTD P 食下量は、2 産目には 5.6 g/日、3 産目には 5.1 g/日、4 産目には 4.7 g/日まで低下します。要求量が低下するのは、産歴が浅い母豚では、除脂肪組織の成長がより必要とされるためです。最近発表された PIC の多産系母豚のデータでは、妊娠後期に適切な STTD P は 6.0 g/日であることを示しています(Grez-Capdeville and Crenshaw, 2021)。さらに、PIC が米国、カナダ、メキシコの 53 農場で実施した、母豚の死亡率及び骨盤臓器脱(POP)に関連する潜在的な管理リスク因子と栄養リスク因子を評価する調査(Thomas et al., 2024)に基づき、補足的な留意事項が示されています。この調査では、STTD P と前年の POP との間に負の相関関係が示されました。農場の高 POP クラスターでは平均で STTD P が 0.49%、農場の低 POP クラスターでは平均で STTD P が 0.39% でした。重要な点として、この観察結果は因果関係を意味するものではなく、さらなる研究の必要があることを留意する必要があります。それでも、この調査では、妊娠期の給餌として飼料中に含まれる著しく過剰な P を避ける必要があることを示しています。よって、PIC では候補豚及び経産豚の妊娠中に必要な STTD P 食下量(フィターゼによる P の放出分を考慮)として最低でも 6.8 g/日を推奨します。

妊娠期の母豚での P の消化率は、授乳期の母豚や増体期の豚に比べて低くなります(Leet et al., 2021)。結果的に、妊娠期の母豚でのフィターゼによる P の放出値は、授乳期の母豚や増体期の豚に比べて低くなります(Jongbloed et al. 2013; Zhai et al. 2022)。PIC では、飼料 1 kg 当り 500 FTU (フィターゼ単位)を上回るフィターゼを補給する場合、フィターゼによる放出に使用される STTD P の最大放出量として 0.14% を推奨しています。

妊娠期母豚の飼料中の Ca 要求量を評価する試験は限られています。そのため、飼料中 Ca の要求量は、飼料中 Ca と P の比を基準にしています。NRC(2012)では、固定の分析 Ca : STTD P 比の 2.2 ~ 2.3 : 1(フィターゼによる Ca の放出を考慮せず)に基づいて分析 Ca 要求量を提案しています。過剰な飼料中 Ca 給与が栄養専門家の間で懸念されるのは、増体期の豚の飼料効率と増体速度に対する悪影響が観察されているためです。しかし、興味深いことに、Ca : P 比が高い状態であっても骨のミネラル化は増加し続けます(Létourneau-Montminy et al. 2012; Zahi et al. 2022)。ミネラル化を目標とする繁殖雌豚では、より広範な Ca : P 比が妥当と考えられます。さらに、PIC のリスク因子に関する観察試験では、分析 Ca : STTD P 比と POP 率との間に重要な関連が認められました(Thomas et al. 2024)。分析 Ca : STTD P 比の平均値は、高 POP クラスターで 1.7、低 POP クラスターで 2.2 でした。重要な点として、この観察結果は因果関係を意味するものではなく、さらなる研究の必要があることを留意する必要があります。PIC では、最低でも 2.3 の分析 Ca : STTD P 比を推奨しています。

分娩前の給餌管理

- ・授乳期の飼料を、これまでの妊娠期で給餌されていたレベルと同じだけ与えます。
- ・分娩前の期間は給餌頻度を上げます：
 - 分娩介護をできる腹数や時間帯に制限がある場合、死産低減に寄与する可能性があります。
 - 離乳前生存率を改善する可能性があります。

分娩前の期間(分娩舎へ移動後、分娩前3～5日間)における給餌管理は、近年研究者らに注目されています(Cools et al., 2014; Decaluwé et al., 2014)。従来、この期間の給餌量は、少量でした。Cools et al. (2014)の研究によると、分娩前の期間に不断給餌を行うと、適正なボディコンディションの母豚において仔豚離乳体重や発育性に改善が見られましたが、過肥の母豚においては悪影響がありました。この期間中に追加の飼料を与えることは、授乳期間中の食下量を上げ、体重ロスの減少をもたらします(Cools et al. 2014, Decaluwé et al., 2014)。分娩前の期間により多くの飼料を与えることは、初乳の泌乳量や栄養組成にも良い影響を及ぼします(Decaluwé et al., 2014)。

Feyera et al. (2018)の研究では、分娩前3時間以内に飼料を摂取した母豚では、分娩時間の減少が見られ、これはより多くのエネルギーを分娩時に消費できるからであると仮説が立てられました。この著者によれば、分娩前3時間以内に飼料を摂取した母豚では死産の発生率も減少したとのことです。Gourley et al. (2020a)の研究では、分娩前3～8日に可消化リジンとエネルギーを増加させることは、母豚と候補豚の体重を増加させ、候補豚ではさらに生存仔豚の生時体重の増加も見られました。しかしながら、分娩前により長い期間(8日間)で高リジン及び高エネルギーを与えられた場合には、候補豚の腹における2日齢～離乳までの仔豚の増体は減少しました。より最近の試験では、妊娠112日目から分娩までの期間に、それぞれ1.8 kg/日、2.7 kg/日及び不断給餌で飼料を与えられた母豚において、死産率に有意差はありませんでした(Harper et al., 2021)。一部の獣医師や栄養専門家では、特に過肥母豚が多く分娩誘起を行っている農場において、分娩前の期間に不断給餌をすると、子宮脱や直腸脱を起こすリスクが高まると考えられています。Almond et al. (2006)の研究によれば、過肥の母豚では子宮の筋力の低下や難産の増加が見られるといいます。このことは、我々が、早期にもしくは過肥の母豚に対し不断給餌を行うことのリスクにも注意すべきであるという理由になります。

給餌量上げることの他に、分娩前の期間の給餌頻度を上げることも、離乳前事故率を改善させ(Gourley et al., 2020b)、また、分娩介護をできる腹数や時間帯に制限がある場合には死産率を低下させる(Miller and Kellner, 2020)と報告されています。

PIC 母豚のためのダイナミックフィーディングプログラム

PICの母豚は、多産で効率的であり、給餌量が少なすぎたり、多すぎることは、母豚や仔豚のパフォーマンスの低下をもたらします。ボディコンディションの管理は、母豚群全体を適正に保つために重要な要素です。母豚のボディコンディション管理とは、なにを基準にして給餌プログラムを決めるべきかということです。妊娠期、分娩前、授乳期、発情再起期間におけるPICの栄養及び給餌管理の推奨は、コマーシャル農場を想定した設備を使った大規模な研究に基づいています。PIC母豚のためのダイナミックフィーディングプログラムツールは、現在の高繁殖能力を持つ候補豚及び母豚の生涯繁殖成績を最大化し、利益を最適化するための推奨事項を提供します。このユーザーのためのツールは、農場の生産成績指標や現在の給餌プログラム、飼料中のエネルギー及びリジンレベルを入力するだけで使用することができます。このツールは、農場長や技術サービススタッフ、栄養スタッフの管理をサポートするために開発されました。

1. 既存の飼料を使って、候補豚及び経産豚に対する最適な給餌プログラムを作成する
2. 飼料中栄養値のPICの推奨と比べて評価する
3. 年間母豚当りの飼料使用量や生産性に関する改善点を提案する

PCやスマートフォン、タブレットで使用するには、[次のURLにアクセスしてください](#)

セクション I

授乳期の母豚

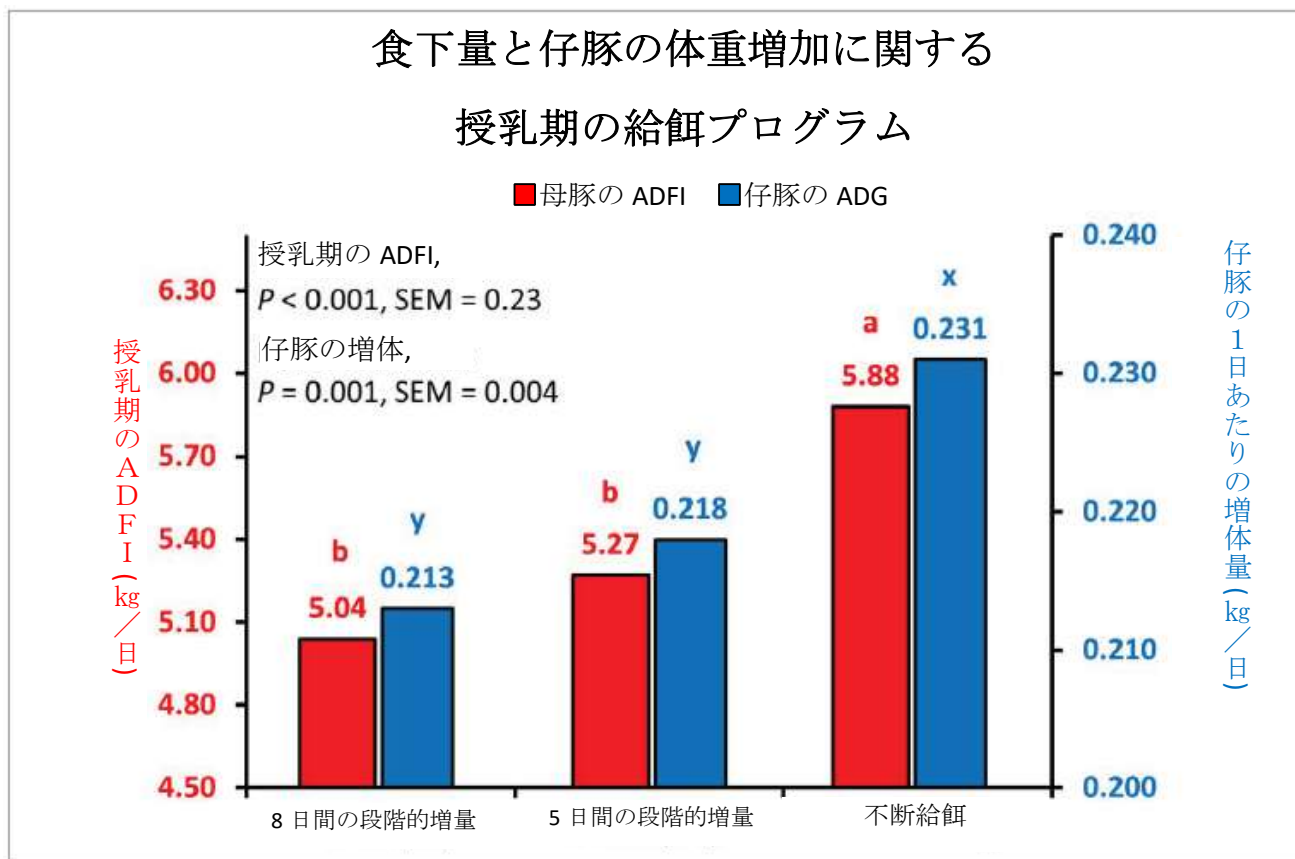


授乳期間中の栄養や給餌管理に関する目標は、母豚が毎日十分なエネルギーや栄養を消費し、繁殖成績を最大化させることです。十分な栄養摂取は、母豚の体重ロスを最小限に抑え、その後の繁殖成績を改善させます。

- 授乳期の母豚の食下量を最大化することは、とても重要です。
- 母豚のボディコンディションを適正に維持し、十分な飼料や水を摂取できる快適な状態で分娩させることは、繁殖成績を最大化することにつながります。
- 授乳期飼料中の適正なアミノ酸レベルは、仔豚の増体や平均食下量によって異なります。

給餌プログラム

授乳期中の PIC の母豚へ分娩時から不断給餌を行うことは、食下量や泌乳量、仔豚の離乳体重を増加させ(図 I1)、段階的に給餌量を上げるプログラムよりも、母豚の体重ロスを抑えることができます。分娩後 5~8 日間の制限給餌は、授乳期間全体での食下量を減少させます(PIC 及び United Animal Health の内部データ; Sulabo et al., 2010)。



^{a,b} 各文字の授乳期の 1 日当たり平均食下量は、異なる文字と有意差がある ($P < 0.05$)

^{x,y} 各文字の仔豚平均 1 日増体は、異なる文字と有意差がある ($P < 0.05$)

¹⁸ 8 日間の段階的増量: 母豚への給餌量は、分娩日の 1.8kg から 8 日後の不断給餌まで段階的に増加させた。5 日間の段階的増量: 母豚への給餌量は、分娩日の 1.8kg から 5 日後の不断給餌まで段階的に増加させた。不断給餌: 分娩日から離乳まで常に不断給餌を行った。

図 I1. 異なる授乳期の給餌管理が母豚の食下量と仔豚の平均 1 日増体に与える影響 (PIC 及び United Animal Health の内部データ)¹

授乳期の高い食下量は母豚の体重ロスを抑え、仔豚の1日あたりの平均増体量を増加させ、発情再起日数を短くすることができます(表 I1)。

表 I1. 異なる授乳期の給餌管理が発情再起日数、母豚の食下量及び仔豚の平均増体(日)に与える影響(PIC 内部データ)

ADFI ¹ , kg	SID ¹ リジン (g/日)	母豚体重変化(kg)	母豚体重変化 ¹ (%)	仔豚 ADG ¹ (kg)	WEI ¹ (d)
3.18	31.5	-26.30	-5.10	0.222	6.3
4.08	42.0	-22.90	-4.81	0.231	5.0
4.99	52.5	-5.80	-1.04	0.249	4.4
5.90	63.0	8.80	2.06	0.249	4.4
6.80	73.5	24.90	5.41	0.249	4.2
8.16	84.0	29.70	6.57	0.259	4.4
9.07	94.5	26.70	5.57	0.272	4.3

¹ADFI = 1 日当り平均食下量; SID = 標準化回腸消化(リジン)、ADG = 1 日当り平均増体量、WEI = 発情再起日数

授乳期の食下量に影響を与える要素

授乳期の食下量に影響を与える要素とは、：

- 環境
 - 室温
 - 室内の風速
 - クールセル
 - 湿度
 - 換気率
- 設備と器材
 - 給水器の流量
 - 給餌器のタイプ
 - 自動給餌 vs 手給餌
 - 床の材質
 - クレートのデザイン
- 妊娠期の食下量
 - 分娩時のボディコンディション
- 母豚に関する事
 - 授乳日数
 - 仔豚数
 - 品種
 - 産歴
 - 疾病の有無
- 飼養管理
 - 十分な飲水が可能なこと
 - 給餌回数
 - 給餌量
 - 新鮮な飼料を与える
 - 給餌器の調整

母豚のボディコンディションを適正に維持し、十分な飼料や水を摂取できる快適な環境で分娩させることは、繁殖成績を最大化することにつながります。

アミノ酸の必要量

PIC の遺伝改良は、母豚の産子数や泌乳量を増加させ、それによりアミノ酸の必要量も変化しています。PIC の候補豚 1,000 頭を使った試験によると、1 日当りの SID リジン食下量を増加させると、初産豚において腹当りの 1 日平均増体量が改善され(線形モデル、 $P = 0.06$)、特に 1 日当りの SID リジン食下量を 42g から 59g に上げたときに改善値が最大化しました (Bruder et al., 2018、図 I2)。また、1 日当りの SID リジン食下量の増加は、初産豚と経産豚の両方において仔豚当りの平均増体量を僅かに増加させ(線形モデル、 $P = 0.10$)、43g から 57g にしたときに最大化しました (Graham et al., 2018、図 I3)。経産のケンボロー®母豚 600 頭による最新試験 (Silva et al., 2020) では、SID リジンレベルを 0.75% から 1.00% に上げると、飼料中のエネルギーレベル(3.2 または 3.4 Mcal ME/kg)に関わらず、仔豚の離乳体重及び 1 日当り増大量を改善させました (線形モデル、 $P < 0.05$)。ここまでに述べた試験のデータに基づくと、現在の PIC の推奨は、経産豚では SID リジン摂取量 56.5g/日、候補豚では SID リジン摂取量 59.0g/日(もし授乳期飼料が 1 種類にのみの場合には、最低 SID リジン摂取量 50g を確保)であり、群全体では母豚 1 頭当たりの平均 SID リジン摂取量は、57.0g となります。

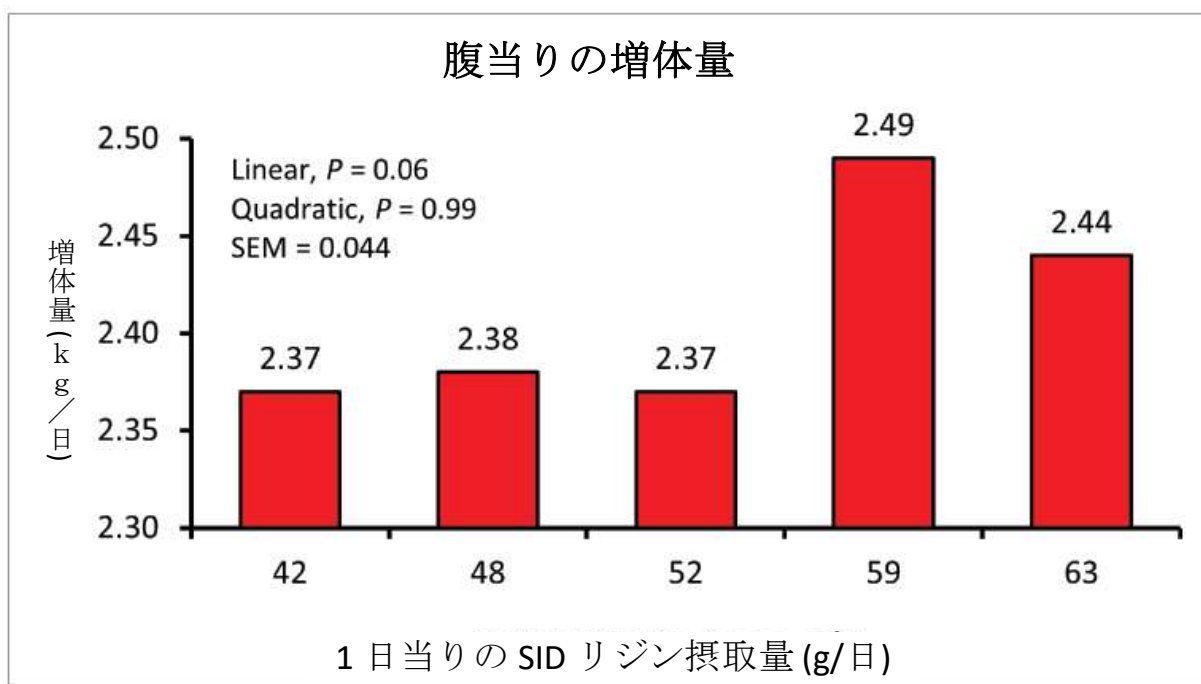


図 I2. 授乳期の初産豚の腹当り増体量に対する SID リジンの 1 日当り摂取量の影響 (Bruder et al., 2018).

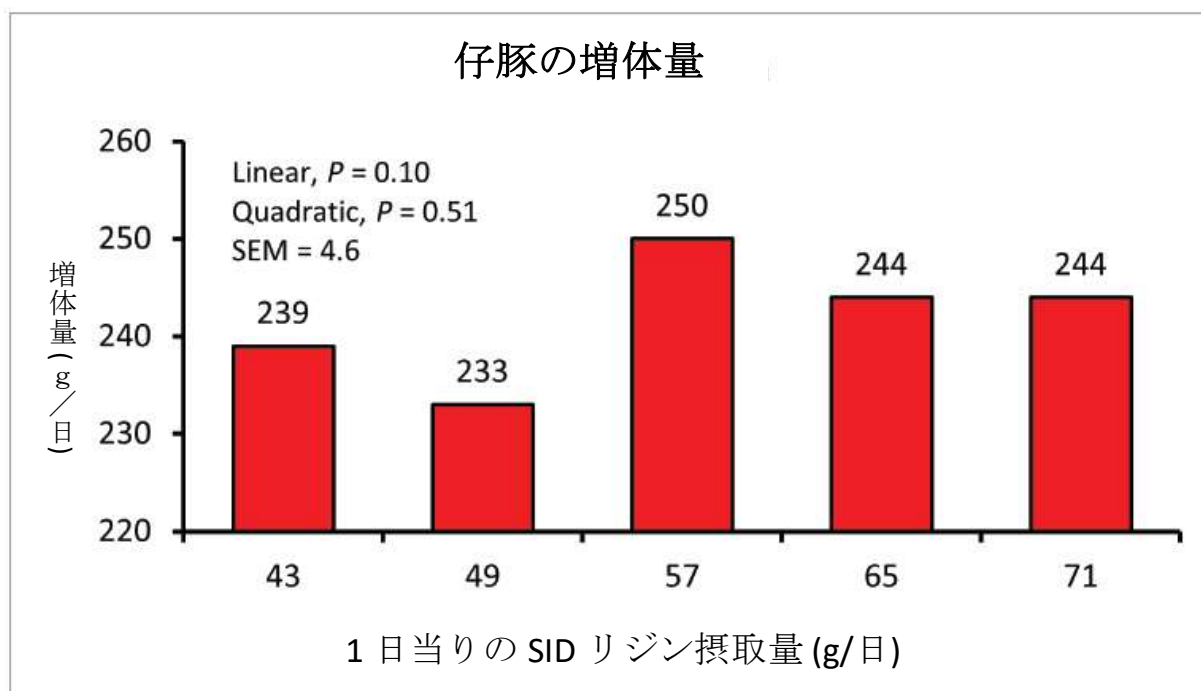


図 I3 授乳期の母豚の仔豚増体量に対する SID リジンの 1 日当り摂取量の影響 (Graham et al., 2018).

スレオニン及びバリンは、授乳中の第2及び第3制限アミノ酸と考えられています (Kim et al., 2001)。Greiner et al. (2017)の研究では、飼料中のSID スレオニン：SID リジン比を増加 (52、60、68、76、84%; n=291, PIC ケンボロー®) させると、腹増体が改善しました (非線形モデル、 $P = 0.001$; 図 I4)。折れ線型非線形モデルでは、腹増体における最適なSID スレオニン：SID リジン比は65%となりました。最適なSID バリン：SID リジン比は、P ケンボロー®母豚 990 頭を使って調査されました (Touchette et al., 2018)。SID バリン：SID リジン比を58%から93%に増加させると、仔豚の離乳体重が二次関数的に増加しました ($P = 0.06$; 図 I5)。この研究から、飼料中のSID バリン：SID リジン比は、65%程度までであれば、母豚や仔豚のパフォーマンスに影響を与えないことが分かりました。

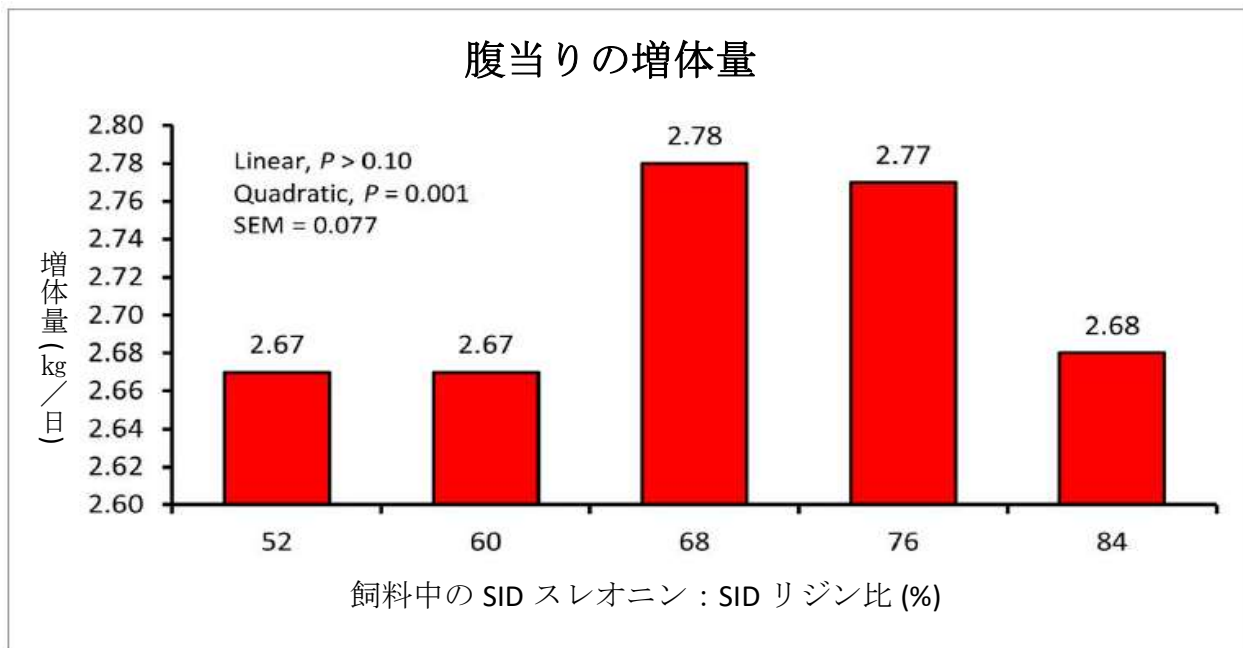


図 I4. 飼料中のSID スレオニン：SID リジン比が授乳期母豚の腹増体に与える影響 (Greiner et al., 2017).

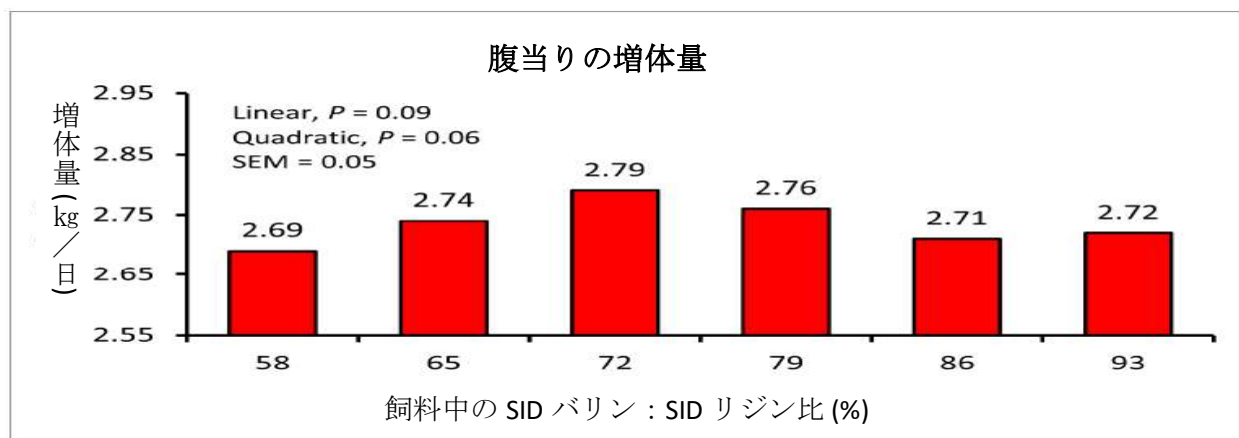


図 I5. 飼料中のSID バリン：SID リジン比が授乳期母豚の腹増体に与える影響 (Touchette et al., 2018).

カルシウムとリンの要求量 最新の知見

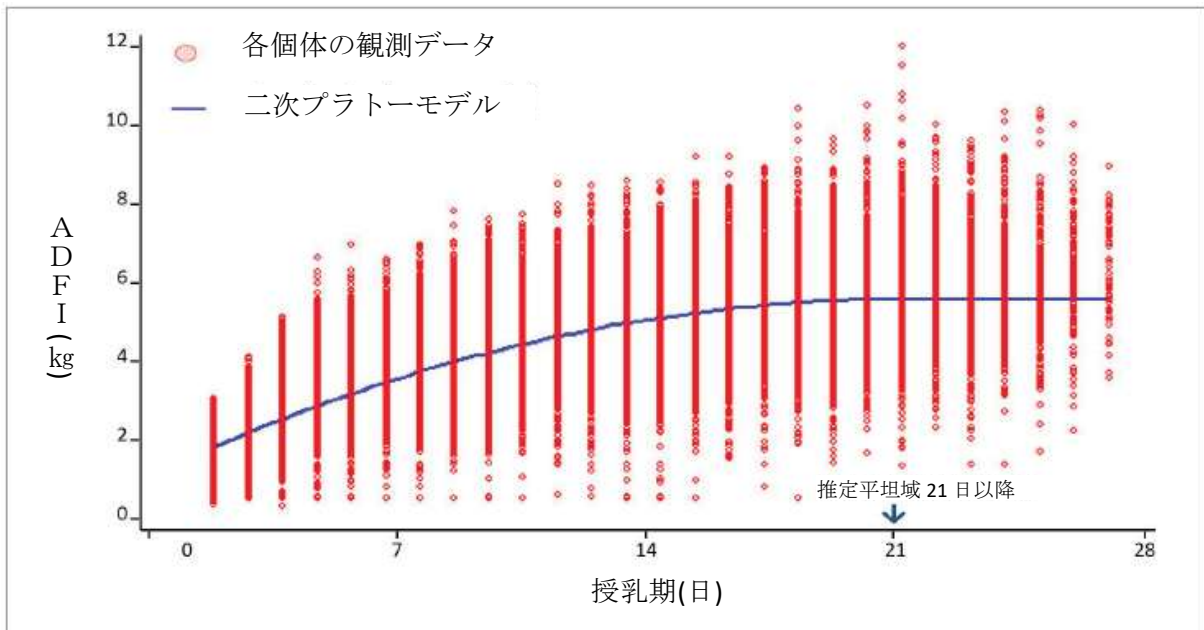
不断給餌および飼料 1kg あたり 500FTU 以上のフィターゼを補給する場合、最大 0.14% の STTD P がフィターゼから放出されると仮定し、PIC は授乳期に最小 0.38% の STTD P を推奨します。

直近のデータでは、授乳期経産母豚に対し、STTD P 要求量として授乳初期では 16.6g/日、授乳後期では 22.1g/日 が示されています (Grez-Capdeville and Crenshaw, 2022) これは、もし 0.38% の STTD P が飼料中に含まれているのであれば、1 日当たりの食下量が 4.4~5.6kg であれば十分な飼料中のリンを摂取できることになります。多くの栄養士が同様の飼料 P 推奨値を妊娠期と授乳期で用いていますが、もし食下量のデータが入手可能であれば、増減調整が可能となるでしょう。

PIC は授乳期の最小分析 Ca : STTD P 比を 2.3 にすることを推奨します。(フィターゼからのカルシウム放出を考慮に入れず) これは、もし最小 STTD P 0.38% を使用しているのであれば、飼料中の分析 Ca レベルが 0.87% であることを意味します。授乳期の母豚における Ca の要求量を評価する文献は限られているのが現状です。それゆえ、飼料中の Ca 推奨値は、飼料中 Ca : P 比に基づいています。

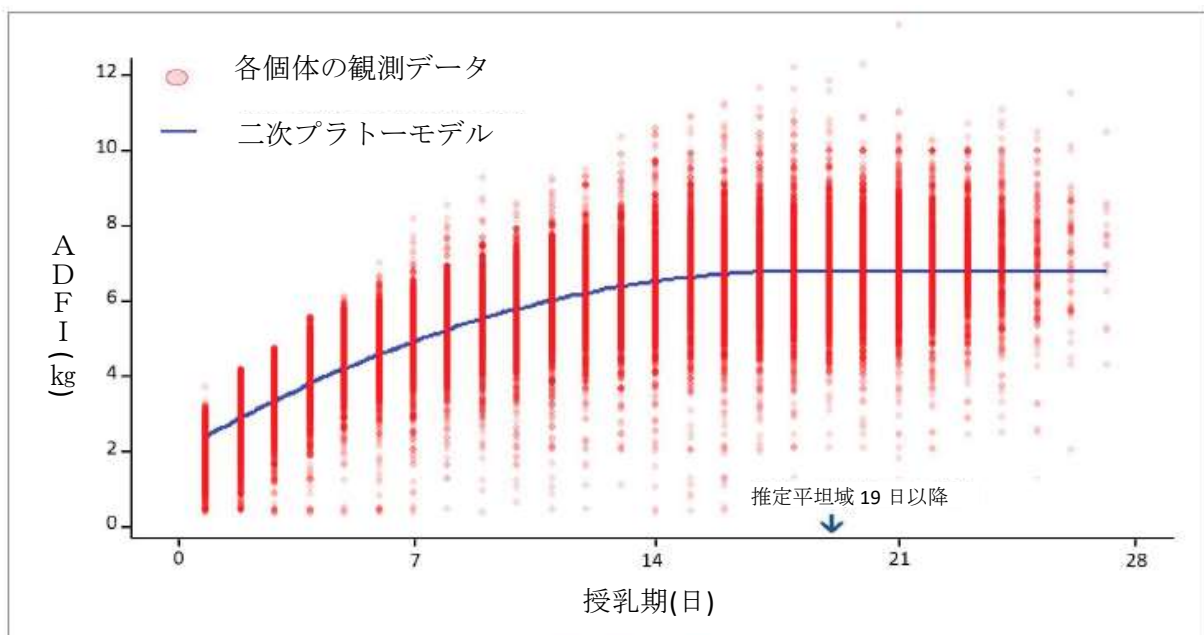
PIC の妊娠期、授乳期の母豚の飼料中の P や Ca のアップデート、授乳期の母豚のカルシウムやリンに関する更なる包括的な情報、アップデートはセクション N を参照してください。

2 つのコマーシャル農場において、それぞれ 10 ヶ月と 3 年以上の期間で、合わせてケンボロー®母豚 405 頭と L03 母豚 1,665 頭から収集した合計 37,402 例の飼料食下量のデータを用い、初産及び 2 産以上の母豚における授乳期食下量を算定しモデル化しました(図 I6 及び I7)。初産豚の授乳期食下量モデルは、食下量は授乳期 21 日目前後で平坦域に達し、授乳期全体では、21 日間を超えると、1 日当りの平均食下量は、1 日プラスつき最大 47g ずつ増加します。2 産目以降の母豚の授乳期食下量モデルでは、食下量は授乳期 19 日目前後で平坦域に達し、授乳期全体では、19 日間を超えると、1 日当りの平均食下量は、1 日プラスにつき最大 57g ずつ増加します。



^a1 日当りの食下量は、授乳日数を使った関数によって推定される。初産の母豚の 1 日当り食下量 = $(3.234049 + 0.949148 \times \text{授乳日数} - 0.022863 \times \text{授乳日数}^2) \div 2.204622$ (kg/日, $R^2 = 0.53$)

図 I6. 初産目の PIC 母豚の 1 日当り食下量(未発表データ)^a



^a1 日当りの食下量は、授乳日数を使った関数によって推定される。2 産目以上の母豚の 1 日当り食下量 = $(4.104837 + 1.201068 \times \text{授乳日数} - 0.031364 \times \text{授乳日数}^2) \div 2.204622$ (kg/日, $R^2 = 0.60$)

図 I7. 2 産目以上の PIC 母豚の 1 日当り食下量(未発表データ)^a

食下量を最大化するために新鮮な飼料を供給し、給餌器を適切に調整する(図 18 と 19).



図 18. 適切に調整された給餌器と新鮮な飼料

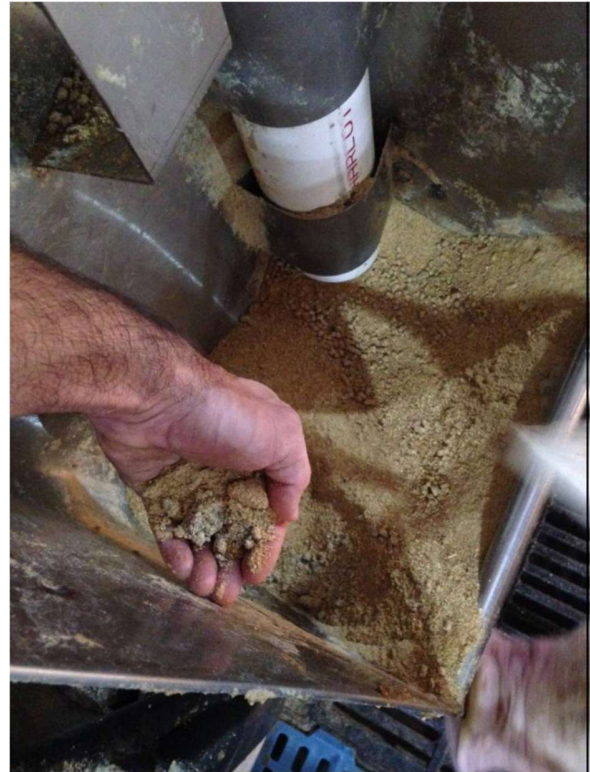


図 19. 不適切に調整された給餌器とカビの生えた飼料

PIC 母豚のためのダイナミックフィーディングプログラム

授乳期中の十分な栄養摂取は、ケンボロー®母豚の遺伝的能力を引き出すために、最重要ポイントのひとつです。ウェブサイト上のアプリケーションである「PIC 母豚のためのダイナミックフィーディングプログラム」は、ユーザーが使用している飼料や農場の情報を評価し、農場ごとの授乳期母豚に必要な栄養推奨を提案します。PC やスマートフォン、タブレットからアプリケーションを使用するには、次の URL にアクセスしてください。 <http://dynamicfemalefeeding.pic.com/en/> (※日本語非対応です)

離乳母豚



離乳母豚に対する給餌管理では、授乳期で消費したエネルギーの回復を開始させ、次回分娩時の産子数を良くするために排卵率を上げることが目的とします。

- 発情再起期間の栄養や給餌管理では、妊娠期の過肥や授乳期の食下量低下による問題を修正することはできません。
- 妊娠期飼料を1日当り 2.7kg/日 (8.7Mcal ME、SID リジン 16g)の給与が、次回の繁殖成績を最大化するために十分な量です。
- キャリパーの測定で痩せと評価された母豚にのみ不断給餌を行います。
- 給餌を飛ばさないでください(離乳のタイミングで給餌されないことがないか)
- ボディコンディションごとに母豚をグループ化してください
- 新鮮な飼料を与え無駄を最小化してください

発情再帰期間中の給餌管理

Menegat et al. (2018) によると、3,230 kcal ME/kg と 0.60% SID リジンの飼料を妊娠期に 2.5kg/日 与えることで、離乳母豚に必要な SID リジンとエネルギーを満たすことができると推測しています。(図 J1)。給餌量は、離乳母豚のボディコンディションに合わせて設定する必要があります。

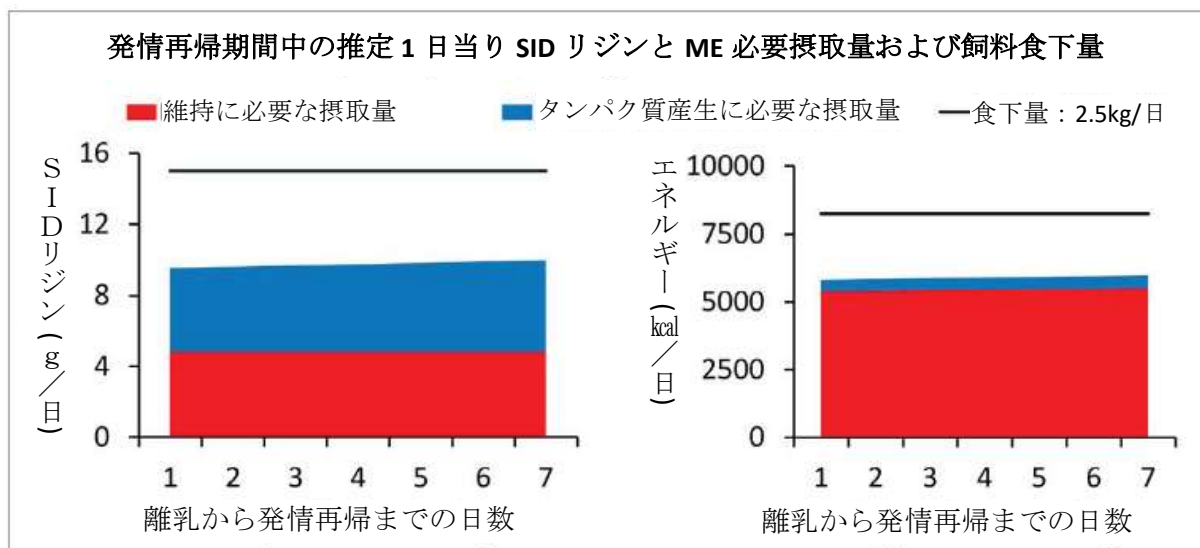


図 J1. 発情再起期間中の経産母豚における推定 1 日当り SID リジン (g/日) と ME (kcal/日) 必要摂取量 (Menegat et al., 2018 より引用)。3,230 kcal ME/kg と 0.60% SID リジンの妊娠期飼料を離乳の日から 7 日目まで 2.5kg/日 を与え、1kg/日の増体があると推定。

最近行われたいくつかの大規模試験の結果によると、ボディコンディションの良好な母豚は、発情再起期間中に給餌量を上げててもメリットがないことが示唆されています (表 J1)。Graham et al. (2015) の研究によると、ボディコンディションスコアが、2.75 以上の母豚に対し、発情再起期間中に 2.7kg、3.6kg、5.5kg/日 と異なる給餌量を与えたとしても、発情再起日数や分娩率、総産子数、生存産子数には、影響はありませんでした。Almeida et al. (2017) の研究では、発情再起期間中に 3.7kg/日の飼料を与えた場合には、2.7kg/日の場合と比べて、分娩率や交配母豚 100 頭当りの生存産子数 (生存産子数インデックス) が改善しました。しかしながら、その後の三つの調査では、発情再起期間中に 2.7kg/日以上 の飼料を与えることによる繁殖成績の改善を検証することはできませんでした。(Almeida et al., 2018; Gianluppi et al., 2019; Lu et al., 2021.)。発情再起期間中に食下量を上げることは、ボディコンディションの痩せた母豚においては、繁殖成績の改善に効果があることが示されています (Baidoo et al., 1992)。

表 J1. 発情再起期間中の食下量の差による母豚と仔豚の成績に与える影響に関する研究の結果

研究	給餌量 kg/日	発情再起 日数(日)	分娩率 (%)	総産子数 (頭)	生存 産子数 (頭)	生存産子 数インデ ックス ¹ , (頭)
Graham et al., 2015	2.7	5.1	85.4	14.3	13.1	1,119
	3.6	5.0	87.0	13.9	12.9	1,122
	5.5	5.0	82.3	13.9	12.9	1,062
Almeida et al., 2017	2.7	NR	88.3 ^b	14.6	13.4	1,144 ^b
	3.7	NR	93.3 ^a	15.0	13.7	1,262 ^a
Almeida et al., 2018	2.6	4.2	88.1	15.1	13.8	1,535
	3.5	4.2	88.2	15.3	13.8	1,543
Gianluppi et al., 2019 – P1	2.7	5.0	92.0	14.0	13.3	1,227
	4.3	5.7	86.1	13.8	13.2	1,135
Gianluppi et al., 2019 – P2+	2.7	4.5	93.4	15.2	14.3	1,340
	4.3	4.6	92.6	15.5	14.5	1,340
Lu et al., 2021 ²	3.0	4.7	97.4	15.3	14.0	1,372
	4.5	4.7	95.7	15.6	14.3	1,362

^{a,b}の各文字は、各研究において異なる文字とは有意差がある($P<0.05$)

¹交配母豚 100 頭における生存産子数を「生存産子数インデックス」とする。生存産子数インデックス = 分娩率(%) × 生存産子数(頭) × 100

²対照区の母豚は、妊娠期に 3kg/日給与され、試験区の母豚は妊娠期に 4.5kg/日の飼料と 200g/日のグルコースを給与された

最近の大規模試験 (Almeida et al., 2018 と Gianluppi et al., 2019)でも、コマーシャル農場において発情再帰期間中に授乳期の飼料を与えることによる改善は確認されませんでした(図 J2)。

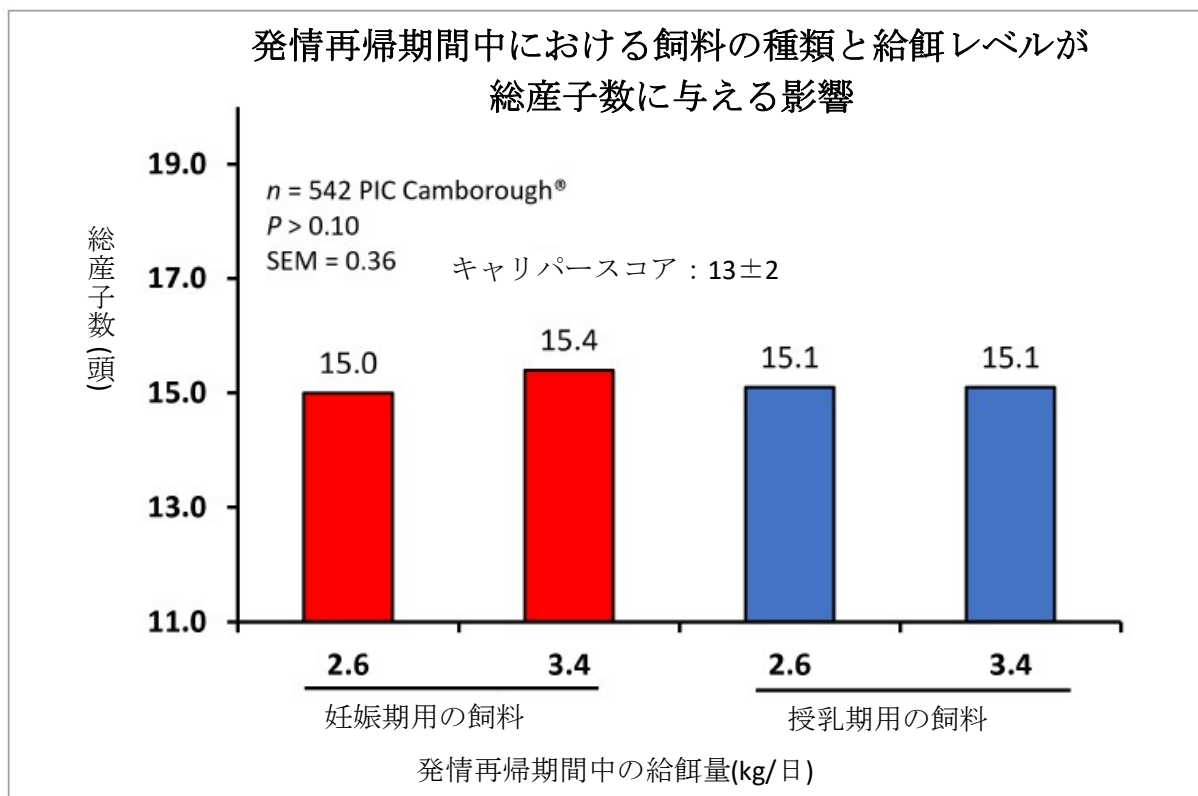


図 J2. ボディコンディション良好な母豚へ発情再起期間中に妊娠期もしくは授乳期の飼料を与えることによる総産子数への影響(Almeida et al., 2018)

PIC では、キャリパー測定で適正とされた母豚へは妊娠期飼料を 2.7kg/日与えることを勧め、キャリパー測定によって痩せと評価された母豚に対してのみ不断給餌を行うことを推奨とします。離乳日に給餌をスキップすることは、黄体形成ホルモンの分泌に悪影響を及ぼし、母豚の繁殖能力を損なうので避けてください。ボディコンディションによって、母豚をグループ分けしておくことを勧めます。離乳母豚の給餌管理のポイントは、新鮮な飼料を十分に与えることと飼料の無駄を抑えることのバランスをとることです。離乳母豚への 1 日の給餌回数は、2 回から 3 回に分けましょう。

離乳仔猪



離乳期の栄養プログラムでは、離乳した最初の週の仔猪へ消化性の高い飼料を与え、食下量を最大化することに焦点を当てます。最終ゴールは、離乳仔猪をできるだけ早く、シンプルな飼料に慣れさせることです。

- 離乳日齢と離乳後の高い食下量は、離乳期のパフォーマンスを最大化するために重要な要素です。
- 42 日齢以降は乳製品や特殊なタンパク質源を与えないようにしてください。
- 離乳後期の発育は、離乳期全体の中でも特に重要です。離乳後期のリジン必要量は必ず満たすようにしてください。
- 飼料設計において SID リジンが推奨値を満たしていても、それ以下であっても、適正なアミノ酸比率であることはとても重要です。
- **NRC2012** で推奨される離乳仔猪へのナトリウム推奨量は、適正なものです。今日使われる飼料では、代替となるラクトース源が使用され、動物性タンパク質が減っているために、そのナトリウム推奨量に達するためにはより多くの塩分を添加する必要があります。

離乳仔猪

離乳日齢は、離乳体重や離乳後の発育性、生存率に直接影響する要素であり、重要です。離乳日齢に関する研究では、離乳日齢を上げることで、その後の発育性や事故率、腸のバリア機能、免疫機能を改善させることが分かっています (Main et al., 2004; Moeser et al., 2007)。日齢が高い離乳仔猪は、身体的にもより成熟し、配合飼料へも上手く慣れていきます。現在の養豚業界における抗生剤の使用を減らしていく流れの中では、離乳日齢の重要性はより増しているといえます。

最近では、Faccin et al. (2020)の研究において、離乳日齢を上げることで(それぞれ 18.5、21.5、24.5)や飼料中に抗生剤を使用することの効果を実験しました。著者によると、これら 2 つの要素による相互作用は確認されず、両方の要素がそれぞれパフォーマンスや離乳仔猪の販売時体重の向上に寄与したとしています。離乳日齢を 1 日伸ばすごとに、出荷体重は 0.70kg 増加しました。

離乳仔猪の食下量を最大化することは、とても重要であり、離乳仔猪の発育はエネルギー摂取量に強く依存しています。離乳した最初の週において飼料食下量を上げることで、消化管の容量を大きくし、腸内のバクテリアの増殖を抑え、下痢の発生を減少させます。

離乳舎に仔猪が導入されてから、飼料と水を不断給餌で与えることはとても重要です。大規模な疫学的調査によると、離乳後の飼料食下量が低いと、高い場合と比べて、下痢の発生リスクが増加します (Madec et al., 1998)。そのため、離乳日齢や離乳後の高い食下量は、離乳期のパフォーマンスを最大化するためにとても重要であるといえます。マット給餌や液餌といった離乳後の食下量を上げるための管理方法の情報については、最新の PIC ウィーントゥフィニッシュガイドラインを参照してください。次の URL にアクセスしてください。 <https://www.pic.com/resources/wean-to-finish-manual-english/> (日本語版についてはイワタニ・ケンボロー(株)までお問合せください。)

フェイズフィーディング

仔猪の消化器官の発達過程に基づくと、一般的には、離乳期において 3 種類の飼料が給餌されます。各飼料の給餌期間は、離乳日齢によって変わります (表 K1)。通常、PIC では、第 1 フェイズ及び第 2 フェイズの飼料は、42 日齢を超えた豚には与えないことを推奨しています。これは、離乳前期の飼料には、乳製品や特殊なタンパク質源が含まれ、飼料コストが高いためです。離乳期の給餌プログラムのコストは、肉豚 1 頭の生産に必要な飼料コストのおよそ 10~15%を占めます。

表 K1. 離乳日齢ごとの離乳期飼料の給餌期間に関する推奨¹

離乳日齢(日)	第 1 フェイズ 離乳～7.5 kg		第 2 フェイズ 7.5 ～ 11.5 kg		第 3 フェイズ 11.5 ～ 22.5 kg	
	期間(日)	終了日齢	期間(日)	終了日齢	期間(日)	終了日齢
18 ～ 20	8	26 ～ 28	14 ～ 16	42	21	63
21 ～ 22	7	28 ～ 29	13 ～ 14	42	21	63
23 ～ 24	6	29 ～ 30	12 ～ 13	42	21	63
25 ～ 28	5	30 ～ 33	9 ～ 12	42	21	63

¹ 必要な飼料量は食下量のほか、給餌管理方法や飼料配送方法、給餌器のタイプ、ヘルスステータスなどによっても変化する。

第1 フェイズ 離乳～7.5 kg

離乳したばかりの仔豚への給餌管理には、消化管の容量が小さい中で食下量を最大化させるために、消化率の良い炭水化物とタンパク質を含んだ飼料を与えることが必要となります。この期間の飼料は、以後のフェイズと比較しても1トンあたりのコストがとて高いものとなります。

もっとも一般的に使用される消化率の良い炭水化物には、結晶性ラクトースや乾燥ホエイ、ホエイパーミート(Whey permeate)といったラクトース源があります。14%もしくはそれ以上の高いラクトースレベルが理想ですが、コストは高いため短期間だけ給与します。一般的に乾燥ホエイは、ホエイパーミートよりも、品質に変化が少ないために好まれますが、高品質なホエイパーミートはそれ単でラクトース源となりえます。その他の高可消化性炭水化物も、コストや品質に問題がなければ、ラクトースの代替とすることができます。(例：麦芽糖、デキストロース、マルトデキストリン、微粉化トウモロコシ、微粉化米、オート麦割など; Guo et al., 2015). ラクトース原料には注意が必要で、一般的には食用に適するレベルであることが望ましいです (Bergstrom et al., 2007)。

離乳仔豚は、大豆粕に対して一過性過敏症を持ちます (Engle, 1994)。実践的な最大含有量は、このフェイズにおける飼料の20%であり、以降のフェイズにおけるより多く大豆粕を含む飼料に慣れさせていく助けとなります。一般的に植物性タンパク質源は、離乳期の飼料に必要なタンパク質の主要な部分を占めます。しかし、食用アミノ酸や動物性タンパク質源を使うことで、離乳前期飼料の大豆粕含有量を減らすことができます。大豆由来タンパク濃縮物は、最大14%までに使うことができ、発酵大豆粕は、6～15%までのレベルであれば、発育や食下量に悪影響は与えません。(Cho et al., 2007; Jones et al., 2010; Kim et al., 2010). ただ一方で、とある報告例として、発酵大豆粕8%含有率の飼料を与えたことで、離乳期全体で僅かに食下量が減少したとする研究もあります。魚粉は、およそ3～6%の含有率で、離乳前期の食下量を上げることができます (Jones et al., 2018)。ただし、魚粉の品質は原料によって大きく変化するに注意が必要です (Kim and Easter, 2001)。ミネラル及び脂肪分の含有量は、魚粉の品質を評価する指標のひとつとなります (例：最大灰分20%、最低脂肪分7.5%)。

第2 フェイズ 7.5 ～11.5 kg

第2 フェイズでは、穀物や大豆粕をより多く使用し、ラクトースや特殊タンパク質レベルが少ないシンプルな飼料を給与します。ラクトースレベルは、一般的にはおよそ7%まで減らし、大豆粕レベルは最大で飼料中の28%まで増加させます (Jang et al., 2019)。よりコストが低い飼料用品質のトリプトファンやバリン、イソロイシンを多く使うことで、特殊タンパク質の使用量を減らしもしくはなくすことでコストを抑えおさえることができます。※イソロイシンは、日本では使用不可(飼料添加物認可されていない)。

第3 フェイズ 11.5 ～22.5 kg

第3 フェイズの飼料では、穀物や大豆粕により主に配合され、ラクトースや特殊タンパク質源を使用しません。この飼料成分は、育成・肥育期飼料の内容と似ています。離乳期の発育能力は、このフェイズに大きく発揮されます。そのため、特にリジンについて、必要なレベルを満たした飼料を与えることが重要です。

その他の考慮事項

ときに、離乳期における増体を大きくさせることで、肥育期においても増体が大きくなるといわれることがあります。栄養的手法によって改善された離乳期の増体が、育成・肥育期にも維持されていくことは考えられますが、それがさらに増加するということはありません。いくつかの研究では、若齢の豚に対し、細かく複雑に配合された飼料を与えると、食下量や発育性が増加したという結果があります (Wolter et al., 2003; Skinner et al., 2014; Lunedo et al., 2020)。しかし、離乳期に得られた効果が、そのまま肥育期の増体にも影響させたということはありませんでした (Whang et al, 2000; Wolter et al., 2003; Skinner et al., 2014)。

離乳期飼料中のリジンやその他のアミノ酸レベルを上げることは、発育性や飼料効率を改善させます (Kendall et al., 2008; Jones et al., 2014)。しかし、最近の調査では、離乳仔豚で、短期間のアミノ酸欠乏状態があると、その後にそれを補完するような発育をするということが分かっています (Nemecheck et al., 2018; Totafurno et al., 2019)。これを農場管理の実践に応用すると、離乳後の最初の 2、3 週間においては、飼料中のリジンレベルを下げることで、飼料中の粗タンパクレベルを下げ、飼料コストを削減することができます。また、このことは消化管の状態を良好に保つことにもつながります (Heo et al., 2009)。

とある調査で、SID リジン：粗タンパク質が 6.40% 以下となる場合については、飼料用アミノ酸を特殊タンパク質源の代わりとして使うことができることが分かっています (Millet et al., 2018)。適正なアミノ酸比率を保つことは、特に設計された飼料が推奨 SID リジンレベルと同じもしくは下回っている場合においてはとても重要となります (Clark et al., 2017a)。

飼料中のトリプトファン：リジン比は、食下量や発育性に大きな影響があります。農場が固定日齢または固定体重どちらの方法で出荷をしているかによって、トリプトファン：リジン比を調整することが農場の利益に大きな影響を及ぼします。最適な SID トリプトファン：リジン比の評価ツールに関する詳細な情報については、セクション A を参照してください。スレオニンは、タンパク質合成のほかにも、消化管内の健康状態や免疫力に関係があります (Ruth and Field, 2013)。飼養環境が悪かったり、疾病の問題がある場合には、スレオニンの必要量に影響するかもしれません。PIC では、コマーシャル農場の環境における最新の調査に基づき、離乳期の豚に対するスレオニン：リジン比の推奨を更新しました (De Jong et al., 2018)。また、他のいくつかの用量作用に関する研究では、離乳期の豚のアミノ酸必要量を調査 (Gonçalves et al., 2015; Jayaraman et al., 2015; Clark et al., 2017b; Kahindi et al., 2017; Cemin et al., 2018) し、これらはアミノ酸比率の推奨を設定するのに活用することができます。離乳期の豚に対するアミノ酸比率の推奨については、セクション Q と R を参照してください。アミノ酸に関する詳細については、セクション A と C を参照してください。

5.5～6.8kg、6.8～11.5kg、11.5～22.5kg の各体重帯の離乳仔豚に対するナトリウム (Na) 必要レベルは、それぞれ 0.40%、0.35%、0.28% です (NRC, 2012; Shawk et al., 2018)。今日の飼料においてはしばしば、魚類・動物性タンパク質の使用が減っているため、必要なナトリウムレベルを満たすための塩分を追加する必要があります。ラクトース源によって必要なナトリウムレベルが満たされることはめったにありません。特にリンレベルが推奨量と同じ、または推奨量を満たしていない場合には、パフォーマンスの低下を回避するため、若齢豚用飼料中の過剰なカルシウム給与を最小限に抑えることも重要です (González-Vega et al., 2016a,b; Merriman et al., 2017; Wu et al., 2018)。カルシウムとリンの必要レベルに関する詳細な情報については、チャプター D を参照してください。

セクション L

育成・肥育豚



育成・肥育期用飼料の最終目的は、生産コストに対するリターンを最大化することです。

- 最新の調査に基づき、PIC のリジン及びリンの生物学的推奨値が更新されました
- エネルギーやリジン、トリプトファン、リンの最も経済的なレベルを算出することができる新しいツールが利用可能です。次の URL にアクセスしてください。https://gnsplc.sharepoint.com/:f:/s/PIC-TechnicalResources/EpjK4XRqgpGomgx_KOkazwB886pStREUGvB1SwywtvisA?e=pl8PTd (日本語非対応)
- 最新の試験によると、過剰なロイシンがあると、イソロイシン、バリン及びトリプトファンに対する比率の調整が必要となる可能性があります。
- PIC の **Seasonal Diet Formulation tool** を使い、利益が高くなる時期に合わせて出荷重量を上げるための戦略を積極的に考えましょう。

育成・肥育飼料の設計

肥育豚の飼料設計のステップは、本マニュアルのセクション A に記載の原則に基づきます。:

1. 最適なリジン：カロリー比を定める

PIC の SID リジンバイオリジカルツールは与えられた体重範囲において、豚の発育を最大化する SID リジンレベルの決定をサポートします。最新の SID リジンバイオリジカルツールでは、体重 11~150kg の範囲に使用できます。また、SID リジンエコノミックカルキュレーターでは、現在使用中の飼料の SID リジン値と生物学的な必要量を経済性の観点から比較します。ふたつのツールの詳細な情報については、セクション C を参照してください。

2. 最も経済的なエネルギーレベルを定める

エネルギーは、育成・肥育飼料の中で一番のコストを占める要素であり、発育性にも大きく影響します。オプティマム NE ツールは、出荷重量や枝肉重量に対する飼料費を引いた利益を最適化するための NE レベルを決めるためのサポートをします。このツールの詳細な情報については、セクション B を参照してください。

3. その他アミノ酸比率を定める

飼料中のトリプトファン：リジン比は、食下量や発育性に大きな影響を及ぼします。農場が固定日齢または固定体重どちらの方法で出荷をしているかによって、トリプトファン：リジン比を調整することが農場の利益に大きな影響を及ぼします。最適な SID トリプトファン：リジン比の評価ツールに関する詳細な情報については、セクション A を参照してください。

トウモロコシや小麦を加工する過程で得られた繊維質の副産物を育成・肥育期の飼料に使うことは、飼料コストを抑えるための一般的な方法です。しかし、繊維質レベルが高すぎると、スレオニンの最適レベルに影響が出る可能性があります。Mathai et al. (2016)の調査によると、体重 25~50kg の豚の飼料中の NDF レベルが 8.3%から 16.6%に増加すると、ADG を最大化するために必要なスレオニン：リジン比が 66%から 71%に増加します。

バリンは、一般的に肥育豚用のトウモロコシ・大豆粕ベースでは、第 5 制限アミノ酸と考えられています (Figuerola et al., 2003)。最新の研究では 25kg から 45kg までの体重範囲における ADG 最大値の 99%または要求率最適値の 99%を達成するには、SID バリン：SID リジン比が、それぞれ 68%または 63%である必要があることが分かっています (Gonçalves et al., 2018)。

飼料中の SID ロイシン：SID リジン比を 100%から 300%に増やすと、発育性、食下量が減少し、要求率が悪化します (Kwon and Stein, 2019; Kwon et al., 2019)。ロイシンは、トウモロコシやトウモロコシから出る副産物に多く含まれるため、通常 トウモロコシベースの飼料では過剰になりがちです。44 の試験を使ったメタアナリシスでは、バリンやイソロイシン、トリプトファンを単一もしくは組み合わせ添加すると、過剰なロイシンレベルが発育性に及ぼす悪影響を軽減できるということが分かりました (Cemin et al., 2019)。飼料中の SID トリプトファン：SID リジン比を増やすのみの場合には、過剰なロイシンレベルの悪影響は部分的に抑えられるにとどまりました。ロイシンのレベルに応じた分岐鎖アミノ酸の調整の例をセクション M に記載しています。リジンに対する飼料中アミノ酸の比率に関する推奨は、本マニュアルの最後の栄養成分表に記載されています。

4. リンレベルを定める

リンは、豚の飼料において、3 番目に高価な成分です。リンは、発育性や赤肉生産、骨のミネラル化に必要となります (Berndt and Kumar, 2009)。オプティマム STTD リンツールでは、生物学的なリン必要量を定め、ユーザーが現在使用している飼料中のリンレベルを生物学的必要量と経済的な観点から比較し、最適なレベルを求めることができます。オプティマム STTD リンツールの詳細な情報については、セクション D を参照してください。

5. カルシウム、ビタミン、微量ミネラル、塩分、その他の成分のレベルを設定する

一般的にカルシウムとリンの比率が、飼料中のカルシウムレベルを決定します。Vier et al. (2019b)の研究によると、26～127kgの体重帯の豚におけるADGを最大化する分析Ca：分析P比率は1.63:1で、飼料中に1000FYT/kgのフィターゼを使用すると1.38:1となります。

NRC(2012)の必要量を超えるビタミンを飼料に添加することは、現在の養豚業界では、一般的となっています。最新の研究では、パフォーマンスを上げるために必要なビタミンレベルを調査しました(Tuffo et al., 2019; Thompson et al., 2020)。本マニュアルの栄養成分表におけるビタミン推奨値は、これら最新の研究結果に基づいています。

育成・肥育期用飼料を設計するための上記5つのステップに加えて、季節によるパフォーマンスや豚価の変化に応じて、飼料を調整することも利益を最大化するために重要です。PIC シーズナル飼料設計ツールに関する詳細な情報については、セクションAを参照してください。

フェイズフィーディング

フェイズフィーディングとは、育成・肥育期における各体重帯に必要な栄養レベルを満たすために業界で一般的に用いられている手法です。飼料の製造や配送・保管の便宜的な観点から、現在ではフェイズフィーディングをよりシンプルなものとする傾向があります。単純化させることで、飼料工場の効率性向上に寄与します(Moore et al., 2013)。

Menegat et al. (2020a)の調査によると、単一飼料のみの給餌プログラムでは、複数種類の飼料を使ったフェイズフィーディング(2、3もしくは4フェイズ)の場合よりも育成・肥育のパフォーマンスが悪化したと報告されています。しかしながら、フェイズ数を4から3、3から2へと変えたときには、PIC推奨のリジンレベルを100%満たしていた場合には、全体の発育性や枝肉品質、飼料費を引いた粗利益(IOFC)に影響はなかったとしています。

育成・肥育へ導入時の体重や食下量が低いと、全体のパフォーマンスも低くなる傾向があります。その他の考慮事項として、制限されるSID リジンの程度や、制限される期間、制限された分を回復する期間、回復する期間中のSID リジンの充足率です(Menegat et al., 2020b)。異なる生産システムや経済事情では、フェイズフィーディングの段階がより少なくなる可能性があります。

飼料注文計画は、そのときの豚に適切な飼料を適切なタイミングに与えるため、飼料フェイズがいくつに分かれているかに関わらず必要なものです。そして、飼料注文計画は、栄養を過小もしくは過剰に与えることを避けるために重要です。飼料中のエネルギーレベルや飼料フェイズ、出荷体重、農場の個別事情に合わせて、豚1頭当りの適切な給与量を定めるため、PIC ではツールを作成しました(https://gnsplc.sharepoint.com/f:/s/PIC-TechnicalResources/EpikC4XRqgpGomgx_KOkazwB886pStREUGvB1SwwywtvjsA?e=pl8PTd ※日本語非対応です)。

TechnicalResources/EpikC4XRqgpGomgx_KOkazwB886pStREUGvB1SwwywtvjsA?e=pl8PTd ※日本語非対応です)。

PIC のカロリー効率調整カルキュレーター

様々な要素が、離乳から肥育期の豚には影響します。要求率に影響する4つの主要要素は、飼料中のエネルギーレベル、遺伝的能力、導入時及び出荷時の体重、事故率です。飼料原料の価格変動により、飼料中エネルギーレベルも変化する可能性があります。

飼料中エネルギーレベルが1%変わると、要求率も1%変化すると推定されます(Euken, 2012)。飼料中エネルギーレベルの調整には、ロットごとのパフォーマンスを見ることが重要です。異なる遺伝子(特に止め雄)から生産された肉豚は、異なる発育性や要求率を持ちます。止め雄ごとの発育の違いを考慮し、導入体重や出荷体重を調整することは、出荷精度を向上させます。出荷体重によって飼料要求率は異なるため、離乳期の移動体重や出荷体重に合わせて飼料要求率を調整することは、一般的にとられる方法です。肥育期の中盤で事故が見られるようなとき、その事故率1%につき、要求率は0.5～0.8%悪化すると考えられます(Tokach et al., 2014)。PIC のカロリー効率調整カルキュレーター

(https://gnsplc.sharepoint.com/f:/s/PICTechnicalResources/EpikC4XRqgpGomgx_KOkazwB886pStREUGvB1SwwywtvjsA?e=pl8PTd ※日本語非対応です)

もご活用ください。飼料の形状や季節性、温度、ラクトパミンの使用(使用が制限されている地域でなければ)など、要求率に関するその他要素を検討するには、カンザス州立大学の要求率カルキュレーターを参考にしてください。

セクション M

PIC 栄養規格表

PIC の栄養および給餌における推奨値は、地域特有の法規制、さまざまな生産環境、屠場のニーズ等、生産に関する特殊な条件に合わせて調整可能です。セクション M では、PIC® 栄養規格表を提供しており、さまざまな生産ステージにおける栄養および給餌の推奨事項を示しています。これらのガイドラインは、段階的給餌戦略、飼養環境、生産目標、摂取飼料量、地域の状況、法規制、市場などの違いを考慮して調整することが可能です。

PIC の栄養規格表は、

<https://gnsplc.sharepoint.com/sites/PIC-TechnicalResources/Nutrition%20Manual/Forms/AllItems.aspx?id=%2Fsites%2FPIC%2DTechnicalResources%2FNutrition%20Manual%2FNutrient%20Specification%20Tables%2FSection%20M%2E%20Nutrient%20Specification%20Tables%20in%20English%20%2D%20Metric&p=true&ga=1>

(※英語原文。日本語版に関しては、イワタニ・ケンボロー(株)担当者までお問い合わせください)をご参照ください。

- 栄養規格表 生殖能力のある雄豚
- 栄養規格表 候補豚
- 栄養規格表 妊娠豚
- 栄養規格表 授乳豚
- 栄養規格表 離乳仔豚
- 栄養規格表 離乳後期と育成肥育豚

特殊な条件に合わせた PIC の豚の給餌

PIC の栄養および給餌における推奨値は、地域特有の法規制、さまざまな生産環境、屠場のニーズ等、生産に関する特殊な条件に合わせて調整可能です

特殊な条件下における PIC の豚の給餌に関する情報は、

[https://gnsplc.sharepoint.com/:f:/s/PIC-](https://gnsplc.sharepoint.com/:f:/s/PIC-TechnicalResources/EtK2F7lcCWVGpfIJtJRv8icBTQhRhmaqMZXXEOXoatnw6g?e=iqlF8D)

[TechnicalResources/EtK2F7lcCWVGpfIJtJRv8icBTQhRhmaqMZXXEOXoatnw6g?e=iqlF8D](https://gnsplc.sharepoint.com/:f:/s/PIC-TechnicalResources/EtK2F7lcCWVGpfIJtJRv8icBTQhRhmaqMZXXEOXoatnw6g?e=iqlF8D) (※日本語非対応)をご参照ください。

- 枝肉歩留および豚肉の脂肪の質
- 緊急時における対応
- PIC 妊娠期、授乳期母豚に対する飼料中 P と Ca のアップデート
- 飼料添加物
 - 飼料中にラクトパミンの使用を検討する際のポイント
- 暑熱環境における給餌
- PIC の豚に対する飼料製造ガイドライン
- 免疫学的去勢
- 去勢されていない肥育雄豚の推奨値
- リキッドフィーディング
- 離乳後の問題に対応できる管理と栄養戦略
- 異常行動に関連した栄養学的要因
- 性別ごとに分けた給餌
- 飼料原料使用時の上限
- 水

参考文献

- Almeida FN, Stein HH. 2012. Effects of graded levels of microbial phytase on the standardized total tract digestibility of phosphorus in corn and corn coproducts fed to pigs. *J Anim Sci.* 90:1262-9. doi: 10.2527/jas.2011-4144.
- Almeida, L. M., M. A. D. Gonçalves, U. A. D. Orlando, and A. Maiorka. 2017. 162 Effects of feeding levels during wean-to-estrus interval and first week of gestation on reproductive performance of sows. *J. Anim. Sci.* 95:76–77. doi:10.2527/asasmw.2017.12.162.
- Almeida, L. M., M. Gonçalves, U. A. D. Orlando, and A. Maiorka. 2018. 174 Effects of Feeding Level and Diet Type during Wean-to-Estrus Interval on Reproductive Performance of Sows. *J. Anim. Sci.* 96:92–92. doi:10.1093/jas/sky073.171.
- Almond, G., W. L. Flowers, L. Batista, and S. D'Allaire. 2006. Disease of the reproductive system. In: B. E. Straw, J. J. Zimmerman, S. D'Allaire, and D. J. Taylor, editors. *Diseases of swine*. 9th ed. Blackwell Publishing, Ames, IA. p. 113–147.
- Althouse, B., M. E. Wilson, T. Gall, and R. L. Moser. 2000. Effects of supplemental dietary zinc on boar sperm production and testis size. In: 14th International Congress on Animal Reproduction. Stockholm, Sweden. p. 264.
- Ampaire, A., and C. L. Levesque. 2016. D Effect of altered lysine:energy ratio during gestation on wean pig growth performance. *J. Anim. Sci.* 94:125. doi:10.2527/msasas2016-264.
- ARC (Agricultural Research Council). 1981. *The Nutrient Requirements of Pigs: Technical Review*. Commonwealth Agricultural Bureaux, Slough, UK.
- Athorn, R. Z., P. Stott, E. G. Bouwman, T. Y. Chen, D. J. Kennaway, and P. Langendijk. 2013. Effect of feeding level on luteal function and progesterone concentration in the vena cava during early pregnancy in gilts. *Reprod. Fertil. Dev.* 25:531–538. doi:10.1071/RD11295.
- Baidoo, S. K., F. X. Aherne, R. N. Kirkwood, and G. R. Foxcroft. 1992. Effect of feed intake during lactation and after weaning on sow reproductive performance. *Can. J. Anim. Sci.* 72:911–917. doi:10.4141/cjas92-103.
- Ball, M. E. E., E. Magowan, K. J. McCracken, V. E. Beattie, R. Bradford, F. J. Gordon, M. J. Robinson, S. Smyth, and W. Henry. 2013. The Effect of Level of Crude Protein and Available Lysine on Finishing Pig Performance, Nitrogen Balance and Nutrient Digestibility. *Asian-Australasian J. Anim. Sci.* 26:564–572. doi:10.5713/ajas.2012.12177.
- Baumgartner, M. 1998. Boars react positively to L-carnitine supplements. *Int. Pig Top.* 13:22.
- Bazer, F. W., G. W. Song, J. Y. Kim, K. A. Dunlap, M. C. Satterfield, G. A. Johnson, R. C. Burghardt, and G. Wu. 2012. Uterine biology in sheep and pigs. *J Anim Sci Biotechnol.* 3:1–21. doi:10.1186/2049-1891-3-23.
- Berger, T., K. L. Esbenshade, M. A. Diekman, T. Hoagland, and J. Tuite. 1981. Influence of Prepubertal Consumption of Zearalenone on Sexual Development of Boars. *J. Anim. Sci.* 53:1559–1564. doi:10.2527/jas1982.5361559x.
- Bergstrom, J. R., C. N. Groesbeck, J. M. Benz, M. D. Tokach, J. L. Nelssen, J. M. DeRouchey, R. D. Goodband, and S. S. Dritz. 2007. An evaluation of dextrose, lactose, and whey sources in phase 2 starter diets for weanling pigs. *Kansas Agric. Exp. Stn. Res. Reports.* 60–65. doi:10.4148/2378-5977.6962.
- Berndt, T., and R. Kumar. 2009. Novel Mechanisms in the Regulation of Phosphorus Homeostasis. *Physiology.* 24:17–25. doi:10.1152/physiol.00034.2008.
- Bikker P. & Blok M. (2017) Phosphorus and Calcium Requirements of Growing Pigs and Sows, CVB Documentation Report no. 59. Wageningen, The Netherlands: Wageningen Livestock Research.
- Boyd, R. D., G. C. Castro, R. A. Cabrera, and B. Franklin. 2002. Nutrition and management of the sow to maximize lifetime productivity. *Advances in Pork Production.* 13:47–59.
- Bruder, E., G. Gourley, and M. Goncalves. 2018. 313 - Effects of Standardized Ileal Digestible Lysine Intake during Lactation on Litter and Reproductive Performance of Gilts. *J. Anim. Sci.* 96:168–168. doi:10.1093/jas/sky073.310.
- Buis, R. Q., D. Wey, and C. F. M. De Lange. 2016. 266 - Development of precision gestation feeding program using electronic sow feeders and effects on gilt performance. *J. Anim. Sci.* 94:125–126. doi:10.2527/msasas2016-266.
- Cabezón, F. A., K. R. Stewart, A. P. Schinckel, W. Barnes, R. D. Boyd, P. Wilcock, and J. Woodliff. 2016. Effect of natural betaine on estimates of semen quality in mature AI boars during summer heat stress. *Anim. Reprod. Sci.* 170:25–37. doi:10.1016/j.anireprosci.2016.03.009.

- Cemin, H. S., C. M. Vier, M. D. Tokach, S. S. Dritz, K. J. Touchette, J. C. Woodworth, J. M. DeRouchey, and R. D. Goodband. 2018. Effects of standardized ileal digestible histidine to lysine ratio on growth performance of 7- to 11-kg nursery pigs. *J. Anim. Sci.* 96:4713–4722. doi:10.1093/jas/sky319.
- Cemin, H. S., M. D. Tokach, S. S. Dritz, J. C. Woodworth, J. M. DeRouchey, and R. D. Goodband. 2019. Meta-regression analysis to predict the influence of branched-chain and large neutral amino acids on growth performance of pigs. *J. Anim. Sci.* 97:2505–2514. doi:10.1093/jas/skz118.
- Chen, J. Q., Y. S. Li, Z. J. Li, H. X. Lu, P. Q. Zhu, and C. M. Li. 2018. Dietary l-arginine supplementation improves semen quality and libido of boars under high ambient temperature. *Animal*. 12:1611–1620. doi:10.1017/S1751731117003147.
- Chiba, L. I., A. J. Lewis, and E. R. Peo. 1991. Amino acid and energy interrelationships in pigs weighing 20 to 50 kilograms: I. Rate and efficiency of weight gain. *J. Anim. Sci.* 69:694–707. doi:10.2527/1991.692694x.
- Cho, J. H., B. J. Min, Y. J. Chen, J. S. Yoo, Q. Wang, J. D. Kim, and I. H. Kim. 2007. Evaluation of FSP (Fermented Soy Protein) to Replace Soybean Meal in Weaned Pigs: Growth Performance, Blood Urea Nitrogen and Total Protein Concentrations in Serum and Nutrient Digestibility. *Asian-Australasian J. Anim. Sci.* 20:1874–1879. doi:10.5713/ajas.2007.1874.
- Clark, A. B., M. D. Tokach, J. M. DeRouchey, S. S. Dritz, J. C. Woodworth, R. D. Goodband, and K. J. Touchette. 2017a. Effects of Amino Acid Ratios and Lysine Level on Nursery Pig Growth Performance. *Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports: Vol. 3: Iss. 7*. <https://doi.org/10.4148/2378-5977.7466>
- Clark, A. B., M. D. Tokach, J. M. DeRouchey, S. S. Dritz, R. D. Goodband, J. C. Woodworth, K. J. Touchette, and N. M. Bello. 2017b. Modeling the effects of standardized ileal digestible isoleucine to lysine ratio on growth performance of nursery pigs. *Transl. Anim. Sci.* 1:437–447. doi:10.2527/tas2017.0048.
- Close, W. H., and F. G. Roberts. 1993. Nutrition of the working boar. In: D. J. Cole, A. Haresign, and P. C. Garnsworthy, editors. *Recent Developments in Pig Nutrition*. 2nd ed. University Press, Nottingham, UK. p. 347–368.
- Cools, A., D. Maes, R. Decaluwé, J. Buyse, T. A. T. G. van Kempen, A. Liesegang, and G. P. J. Janssens. 2014. Ad libitum feeding during the periparturient period affects body condition, reproduction results and metabolism of sows. *Anim. Reprod. Sci.* 145:130–140. doi:10.1016/j.anireprosci.2014.01.008.
- CVB. 2008. Central Bureau for Livestock Feeding. Lelystad, Netherlands. Decaluwé, R., D. Maes, A. Cools, B. Wuyts, S. De Smet, B. Marescau, P. P. De Deyn, and G. P. J. Janssens. 2014. Effect of periparturient feeding strategy on colostrum yield and composition in sows. *J. Anim. Sci.* 92:3557–3567. doi:10.2527/jas.2014-7612.
- Dritz, S. S., R. D. Goodband, J. M. DeRouchey, M. D. Tokach, and J. C. Woodworth. 2019. Nutrient Deficiencies and Excesses. In: J. J. Zimmerman, L. A. Karriker, A. Ramirez, K. J. Schwartz, G. W. Stevenson, J. Zhang, editors. *Diseases of Swine*. 11th ed. Wiley Blackwell. p. 1041–1054.
- Engle, M. J. 1994. The role of soybean meal hypersensitivity in postweaning lag and diarrhea in piglets. *Swine Heal. Prod.* 2:7–10.
- Estienne, M. J., A. F. Harper, and R. J. Crawford. 2008. Dietary supplementation with a source of omega-3 fatty acids increases sperm number and the duration of ejaculation in boars. *Theriogenology*. 70:70–76. doi:10.1016/j.theriogenology.2008.02.007.
- Euken, R. M. 2012. Swine Feed Efficiency: Effect of dietary energy on feed efficiency. Available from: <http://www.swinefeedefficiency.com/>
- Faccin, J. E. G., M. D. Tokach, M. W. Allerson, J. C. Woodworth, J. M. DeRouchey, S. S. Dritz, F. P. Bortolozzo, and R. D. Goodband. 2020. Relationship between weaning age and antibiotic usage on pig growth performance and mortality. *J. Anim. Sci.* doi:10.1093/jas/skaa363.
- Feyera, T., T. F. Pedersen, U. Krogh, L. Foldager, and P. K. Theil. 2018. Impact of sow energy status during farrowing on farrowing kinetics, frequency of stillborn piglets, and farrowing assistance. *J. Anim. Sci.* 96:2320–2331. doi:10.1093/jas/sky141.
- Figuerola, J. L., A. J. Lewis, P. S. Miller, R. L. Fischer, and R. M. Diedrichsen. 2003. Growth, carcass traits, and plasma amino acid concentrations of gilts fed low-protein diets supplemented with amino acids including histidine, isoleucine, and valine. *J. Anim. Sci.* 81:1529–1537. doi:10.2527/2003.8161529x.
- Flohr, J. R., J. M. DeRouchey, J. C. Woodworth, M. D. Tokach, R. D. Goodband, and S. S. Dritz. 2016. Original research peer reviewed a survey of current feeding regimens for vitamins and trace minerals in the US swine industry. *J. Swine Heal. Prod.* 24:290–303.
- Fraser, D. 1987. Mineral-deficient diets and the pig's attraction to blood: implications for tail-biting. *Can. J. Anim. Sci.* 67:909–918. doi:10.4141/cjas87-096.
- Gabert, V. M., H. Jørgensen, and C. M. Nyachoti. 2001. Bioavailability of AA in feedstuffs for swine. In: A. J. Lewis and L. L. Southern, editors. *Swine Nutrition*. 2nd ed. CRC Press, New York, NY. p. 151–186.

- Gianluppi, R. D. F., M. S. Lucca, A. P. G. Mellagi, M. L. Bernardi, U. A. D. Orlando, R. R. Ulguim, and F. P. Bortolozzo. 2020. Effects of different amounts and type of diet during weaning-to-estrus interval on reproductive performance of primiparous and multiparous sows. *animal*. 14:1906–1915. doi:10.1017/S175173112000049X.
- Gonçalves, M. A. D., S. Nitikanchana, M. D. Tokach, S. S. Dritz, N. M. Bello, R. D. Goodband, K. J. Touchette, J. L. Usry, J. M. DeRouchey, and J. C. Woodworth. 2015. Effects of standardized ileal digestible tryptophan: lysine ratio on growth performance of nursery pigs. *J. Anim. Sci.* 93:3909–3918. doi:10.2527/jas.2015-9083.
- Gonçalves, M. A. D., K. M. Gourley, S. S. Dritz, M. D. Tokach, N. M. Bello, J. M. DeRouchey, J. C. Woodworth, and R. D. Goodband. 2016b. Effects of amino acids and energy intake during late gestation of high-performing gilts and sows on litter and reproductive performance under commercial conditions. *J. Anim. Sci.* 94:1993–2003. doi:10.2527/jas.2015-0087.
- Gonçalves, M. A. D., M. D. Tokach, S. S. Dritz, N. M. Bello, K. J. Touchette, R. D. Goodband, J. M. Derouchey, and J. C. Woodworth. 2018. Standardized ileal digestible valine:Lysine dose response effects in 25- to 45-kg pigs under commercial conditions. *J. Anim. Sci.* 96:591–599. doi:10.1093/jas/skx059.
- González-Vega, J. C., Y. Liu, J. C. McCann, C. L. Walk, J. J. Looor, and H. H. Stein. 2016a. Requirement for digestible calcium by eleven- to twenty-five-kilogram pigs as determined by growth performance, bone ash concentration, calcium and phosphorus balances, and expression of genes involved in transport of calcium in intestinal and kidney cell. *J. Anim. Sci.* 94:3321–3334. doi:10.2527/jas.2016-0444.
- González-Vega, J. C., C. L. Walk, M. R. Murphy, and H. H. Stein. 2016b. Requirement for digestible calcium by 25 to 50 kg pigs at different dietary concentrations of phosphorus as indicated by growth performance, bone ash concentration, and calcium and phosphorus balances. *J. Anim. Sci.* 94:5272–5285. doi:10.2527/jas.2016-0751.
- Goodband, B., M. Tokach, S. Dritz, J. DeRouchey, and J. Woodworth. 2014. Practical starter pig amino acid requirements in relation to immunity, gut health and growth performance. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 5:12. doi:10.1186/2049-1891-5-12.
- Gourley, K. M., G. E. Nichols, J. A. Sonderman, Z. T. Spencer, J. C. Woodworth, M. D. Tokach, J. M. DeRouchey, S. S. Dritz, R. D. Goodband, S. J. Kitt, and E. W. Stephenson. 2017. Determining the impact of increasing standardized ileal digestible lysine for primiparous and multiparous sows during lactation. *Transl. Anim. Sci.* 1:426–436. doi:10.2527/tas2017.0043.
- Gourley, K. M., A. J. Swanson, J. M. DeRouchey, M. D. Tokach, S. S. Dritz, R. D. Goodband, and J. C. Woodworth. 2020a. Effects of increased lysine and energy feeding duration prior to parturition on sow and litter performance, piglet survival, and colostrum quality. *J. Anim. Sci.* 98. doi:10.1093/jas/skaa105.
- Gourley, K. M., A. J. Swanson, R. Q. Royall, J. M. DeRouchey, M. D. Tokach, S. S. Dritz, R. D. Goodband, C. W. Hastad, and J. C. Woodworth. 2020b. Effects of timing and size of meals prior to farrowing on sow and litter performance. *Transl. Anim. Sci.* 4:724–736. doi:10.1093/tas/txaa066.
- Gourley, K. M., J. C. Woodworth, J. M. DeRouchey, M. D. Tokach, S. S. Dritz, and R. D. Goodband. 2020c. Effects of soybean meal concentration in lactating sow diets on sow and litter performance and blood criteria. *Transl. Anim. Sci.* 4:594–601. doi:10.1093/tas/txaa037.
- Graham, A., K. J. Touchette, S. Jungst, M. Tegtmeyer, J. Connor, and L. Greiner. 2015. Impact of feeding level postweaning on wean to estrus interval, conception and farrowing rates, and subsequent farrowing performance. *J. Anim. Sci.* 93:65.
- Graham, A., L. Greiner, M. A. D. Goncalves, U. A. D. Orlando, and K. J. Touchette. 2018. Lysine Requirement of Lactating Sows - Revisited. *J. Anim. Sci.* 96:167–168. doi:10.1093/jas/sky073.309.
- Greiner, L., A. Graham, K. J. Touchette, and C. R. Neill. 2016. The evaluation of increasing lysine or feed amounts in late gestation on piglet birth weights. *J. Anim. Sci.* 94:123–124. doi:10.2527/msasas2016-261.
- Greiner, L., A. Graham, K. J. Touchette, M. A. D. Goncalves, U. A. D. Orlando, and J. Connor. 2017. Threonine:Lysine ratio requirement in lactating sows. *J. Anim. Sci.* 95:115. doi:10.2527/asasmw.2017.12.240.
- Greiz-Capdeville, M., and Crenshaw, T. D. 2021. Estimation of phosphorus requirements of sows based on 24-hour urinary phosphorus excretion during gestation and lactation. *Brit. J. Nutr.* 1–12. doi:10.1017/S0007114521003421
- Guo, J. Y., C. E. Phillips, M. T. Coffey, and S. W. Kim. 2015. Efficacy of a supplemental candy coproduct as an alternative carbohydrate source to lactose on growth performance of newly weaned pigs in a commercial farm condition. *J. Anim. Sci.* 93:5304–5312. doi:10.2527/jas.2015-9328.
- Harper, H., G. Silva, B. Peterson, A. Hanson, J. Soto, C. Vier, N. Lu, and U. Orlando. 2021. Effects of Different Feeding Levels Prior to Farrowing on Sow and Litter Performance. In: ASAS Midwest Animal Science Meetings
- Heo, J. M., J. C. Kim, C. F. Hansen, B. P. Mullan, D. J. Hampson, and J. R. Pluske. 2009. Feeding a diet with decreased protein content reduces indices of protein fermentation and the incidence of postweaning diarrhea in weaned pigs challenged with an enterotoxigenic strain of *Escherichia coli*. *J. Anim. Sci.* 87:2833–2843. doi:10.2527/jas.2008-1274.

- Huerta, I., C. M. Vier, U. A. D. Orlando, N. Lu, R. Navales, and W. R. Cast. 2021. Association between gilts and sows body condition and reproductive performance. In: ASAS Midwest Animal Science Meetings.
- Jacyno, E., A. Kołodziej, M. Kamyczek, M. Kawęcka, K. Dziadek, and A. Pietruszka. 2007. Effect of L-Carnitine Supplementation on Boar Semen Quality. *Acta Vet. Brno.* 76:595–600. doi:10.2754/avb200776040595.
- Jang, K. B., J. M. Purvis, and S. W. Kim. 2019. 143 Supplemental effects of whey permeate on growth performance and gut health of nursery pigs. *J. Anim. Sci.* 97:81–82. doi:10.1093/jas/skz122.148.
- Jayaraman, B., J. Htoo, and C. M. Nyachoti. 2015. Effects of dietary threonine:lysine ratios and sanitary conditions on performance, plasma urea nitrogen, plasma-free threonine and lysine of weaned pigs. *Anim. Nutr.* 1:283–288. doi:10.1016/j.aninu.2015.09.003.
- Jerez, K., C. Ramirez-Camba, C. Vier, N. Lu, W. Cast, S. Dritz, R. Navales, U. Orlando. 2021. A web application to establish customized feeding program and nutrient specifications for highly prolific sows. In: ASAS Midwest Animal Science Meetings.
- Jindal, R., J. R. Cosgrove, F. X. Aherne, and G. R. Foxcroft. 1996. Effect of nutrition on embryonal mortality in gilts: association with progesterone. *J. Anim. Sci.* 74:620–624. doi:10.2527/1996.743620x.
- Jones, C. K., J. M. DeRouchey, J. L. Nelssen, M. D. Tokach, S. S. Dritz, and R. D. Goodband. 2010. Effects of fermented soybean meal and specialty animal protein sources on nursery pig performance. *J. Anim. Sci.* 88:1725–1732. doi:10.2527/jas.2009-2110.
- Jones, C. K., M. D. Tokach, J. L. Usry, C. R. Neill, and J. F. Patience. 2014. Evaluating lysine requirements of nursery pigs fed low protein diets with different sources of nonessential amino acids. *J. Anim. Sci.* 92:3460–3470. doi:10.2527/jas.2014-7018.
- Jones, A. M., F. Wu, J. C. Woodworth, M. D. Tokach, R. D. Goodband, J. M. DeRouchey, and S. S. Dritz. 2018. Evaluating the effects of fish meal source and level on growth performance of nursery pigs. *Transl. Anim. Sci.* 2:144–155. doi:10.1093/tas/txy010.
- De Jong, J., C. R. Neill, M. A. D. Goncalves, U. A. D. Orlando, and M. Culbertson. 2018. 310 - Effects of Standardized Ileal Digestible (SID) Threonine: Lysine Ratio on Nursery Pig Performance. *J. Anim. Sci.* 96:166–167. doi:10.1093/jas/sky073.307.
- Jongbloed, A.W., J.T.M. van Diepen, G.P. Binnendijk, P. Bikker, M. Vereecken, K. Bierman. 2013. Efficacy of OptiphosTM phytase on mineral digestibility in diets for breeding sows: effect during pregnancy and lactation. *J. Liv. Sci.* <http://livestockscience.in/wp-content/uploads/2013/01/phytase-sow-netherlands.pdf>
- Kahindi, R., A. Regassa, J. Htoo, and M. Nyachoti. 2017. Optimal sulfur amino acid to lysine ratio for post weaning piglets reared under clean or unclean sanitary conditions. *Anim. Nutr.* 3:380–385. doi:10.1016/j.aninu.2017.08.004.
- Kemp, B., H. J. G. Grooten, L. A. Den Hartog, P. Luiting, and M. W. A. Verstegen. 1988. The effect of a high protein intake on sperm production in boars at two semen collection frequencies. *Anim. Reprod. Sci.* 17:103–113. doi:10.1016/0378-4320(88)90050-4.
- Kemp, B., L. A. Den Hartog, and H. J. G. Grooten. 1989. The effect of feeding level on semen quantity and quality of breeding boars. *Anim. Reprod. Sci.* 20:245–254. doi:10.1016/0378-4320(89)90073-0.
- Kemp, B., F. P. Vervoort, P. Bikker, J. Janmaat, M. W. A. Verstegen, and H. J. G. Grooten. 1990. Semen collection frequency and the energy metabolism of A.I. boars. *Anim. Reprod. Sci.* 22:87–98. doi:10.1016/0378-4320(90)90068-Q.
- Kendall, D. C., A. M. Gaines, G. L. Allee, and J. L. Usry. 2008. Commercial validation of the true ileal digestible lysine requirement for eleven- to twenty-seven-kilogram pigs. *J. Anim. Sci.* 86:324–332. doi:10.2527/jas.2007-0086.
- Kim, S. W., D. H. Baker, and R. A. Easter. 2001. Dynamic ideal protein and limiting amino acids for lactating sows: the impact of amino acid mobilization. *J. Anim. Sci.* 79:2356–2366. doi:10.2527/2001.7992356x.
- Kim, S. W., and R. A. Easter. 2001. Nutritional value of fish meals in the diet for young pigs. *J. Anim. Sci.* 79:1829–1839. doi:10.2527/2001.7971829x.
- Kim, S. W., E. Van Heugten, F. Ji, C. H. Lee, and R. D. Mateo. 2010. Fermented soybean meal as a vegetable protein source for nursery pigs: I. Effects on growth performance of nursery pigs. *J. Anim. Sci.* 88:214–224. doi:10.2527/jas.2009-1993.
- Knauer, M. T., J. Purvis, N. Lu, U. A. D. Orlando, C. M. Vier, and W. R. Cast. 2020. Evaluation of the NRC (2012) model in estimating standard maintenance metabolizable energy requirement of PIC[®] sows during mid-gestation. In: ASAS Midwest Animal Science Meetings.
- Kozink, D. M., M. J. Estienne, A. F. Harper, and J. W. Knight. 2004. Effects of dietary l-carnitine supplementation on semen characteristics in boars. *Theriogenology.* 61:1247–1258. doi:10.1016/j.theriogenology.2003.07.022.
- Kwon, W. B., and H. H. Stein. 2019. Update on amino acids in high fiber diets: Threonine and branch chained amino acids. In: *Midwest Swine Nutr. Conf. Indianapolis.* p. 11–17.

- Kwon, W. B., K. J. Touchette, A. Simongiovanni, K. Syriopoulos, A. Wessels, and H. H. Stein. 2019. Excess dietary leucine in diets for growing pigs reduces growth performance, biological value of protein, protein retention, and serotonin synthesis. *J. Anim. Sci.* 97:4282–4292. doi:10.1093/jas/skz259. De La Llata, M., S. S. Dritz, M. R. Langemeier, M. D. Tokach, R. D. Goodband, and J. L. Nelssen. 2001. Economics of increasing lysine:calorie ratio and adding dietary fat for growing-finishing pigs reared in a commercial environment. *J. Swine Heal. Prod.* 9:215–223.
- Langendijk, P., E. G. Bouwman, T. Y. Chen, R. E. Koopmanschap, and N. M. Soede. 2017. Temporary undernutrition during early gestation, corpora lutea morphometrics, ovarian progesterone secretion and embryo survival in gilts. *Reprod. Fertil. Dev.* 29:1349–1355. doi:10.1071/RD15520.
- Laskoski, F., J. E. Faccin, C. M. Vier, M. A. Gonçalves, U. A. Orlando, R. Kummer, A. P. Mellagi, M. L. Bernardi, I. Wentz, and F. P. Bortolozzo. 2019. Effects of pigs per feeder hole and group size on feed intake onset, growth performance, and ear and tail lesions in nursery pigs with consistent space allowance. *J. Swine Heal. Prod.* 27:12–18.
- Lee, S.A., M.R. Bedford, H.H. Stein. 2021. Comparative digestibility and retention of calcium and phosphorus in normal- and high-phytate diets fed to gestating sows and growing pigs. *Anim Feed Sci Tech*: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.115084>.
- Leeson, S., and J. D. Summers. 2001. Minerals. In: *Nutrition of the Chicken*. 4th ed. University Books, Guelph, ON. p. 331–428.
- Létourneau-Montminy, M. P., C. Jondreville, D. Sauvant, and A. Narcy. 2012. Meta-analysis of phosphorus utilization by growing pigs: effect of dietary phosphorus, calcium and exogenous phytase. *Animal*. 6:1590–1600. doi:10.1017/S1751731112000560
- Levis, D. G. 1997. Managing post pubertal boars for optimum fertility. *The Compendium's Food Animal Medicine and Management*.
- Liao, P., X. Shu, M. Tang, B. Tan, and Y. Yin. 2018. Effect of dietary copper source (inorganic vs. chelated) on immune response, mineral status, and fecal mineral excretion in nursery piglets. *Food Agric. Immunol.* 29:548–563. doi:10.1080/09540105.2017.1416068.
- Lindemann, M. D., and N. Lu. 2019. Use of chromium as an animal feed supplement. In: J. Vincent, editor. *The nutritional biochemistry of chromium*. 1st ed. Elsevier. p. 79–125.
- Liu, Y., Y. L. Ma, J. M. Zhao, M. Vazquez-Añón, and H. H. Stein. 2014. Digestibility and retention of zinc, copper, manganese, iron, calcium, and phosphorus in pigs fed diets containing inorganic or organic minerals. *J. Anim. Sci.* 92:3407–3415. doi:10.2527/jas.2013-7080.
- Louis, G. F., A. J. Lewis, W. C. Weldon, P. M. Ermer, P. S. Miller, R. J. Kittok, and W. W. Stroup. 1994a. The effect of energy and protein intakes on boar libido, semen characteristics, and plasma hormone concentrations. *J. Anim. Sci.* 72:2051–2060. doi:10.2527/1994.7282051x.
- Louis, G. F., A. J. Lewis, W. C. Weldon, P. S. Miller, R. J. Kittok, and W. W. Stroup. 1994b. The effect of protein intake on boar libido, semen characteristics, and plasma hormone concentrations. *J. Anim. Sci.* 72:2038–2050. doi:10.2527/1994.7282038x.
- Lu, N., and M. D. Lindemann. 2017. Effects of dietary copper levels on growth performance and response to lipopolysaccharide challenge in nursery pigs from sows fed either high or low copper diets. *J. Anim. Sci.* 95:55. doi:10.2527/asasmw.2017.118.
- Lu, N., H. J. Monegue, and M. D. Lindemann. 2018. Long-Term Effects of Dietary Source and Level of Copper on Reproductive Performance, Nutrient Digestibility, Milk Composition, and Tissue Trace Mineral Concentrations of Sows. *J. Anim. Sci.* 96:132. doi:10.1093/jas/sky073.244.
- Lu, N., C. Vier, W. Cast, U. Orlando, M. Goncalves, and M. Young. 2020. Effects of dietary net energy and neutral detergent fiber levels on growth performance and carcass characteristics of growing finishing pigs. In: *ASAS Midwest Animal Science Meetings*.
- Lu, N., R. Wang, G. Popa, C. Vier, and U. Orlando. 2021. Effects of different feeding regimes during wean-to-estrus interval on sow reproductive performance. In: *ASAS Midwest Animal Science Meetings*.
- Lunedo, R., D. Perondi, C. M. Vier, U. A. D. Orlando, G. F. R. Lima, A. D. Junior, and R. Kummer. 2020. Determining the effects of diet complexity and body weight categories on growth performance of nursery pigs. *J. Anim. Sci.* 98:92. doi:10.1093/jas/skaa054.160.
- Madec, F., N. Bridoux, S. Bounaix, and A. Jestin. 1998. Measurement of digestive disorders in the piglet at weaning and related risk factors. *Prev. Vet. Med.* 35:53–72. doi:10.1016/S0167-5877(97)00057-3.
- Main, R. G., S. S. Dritz, M. D. Tokach, R. D. Goodband, and J. L. Nelssen. 2004. Increasing weaning age improves pig performance in a multisite production system. *J. Anim. Sci.* 82:1499–1507. doi:10.2527/2004.8251499x.
- Main, R. G., S. S. Dritz, M. D. Tokach, R. D. Goodband, J. L. Nelssen, and J. M. DeRouchey. 2008. Effects of Feeding Growing Pigs Less or More Than Their Estimated Lysine Requirement in Early and Late Finishing on Overall Performance. *Prof. Anim. Sci.* 24:76–87. doi:10.15232/S1080-7446(15)30813-5.
- Mallmann, A. L., F. B. Betiolo, E. Camilloti, A. P. G. Mellagi, R. R. Ulguim, I. Wentz, M. L. Bernardi, M. A. D. Gonçalves, R. Kummer, and F. P. Bortolozzo. 2018. Two different feeding levels during late gestation in gilts and sows under commercial conditions: Impact on piglet birth weight and female reproductive performance. *J. Anim. Sci.* 96:4209–4219. doi:10.1093/jas/sky297.

- Mallmann, A. L., E. Camilotti, D. P. Fagundes, C. E. Vier, A. P. G. Mellagi, R. R. Ulguim, M. L. Bernardi, U. A. D. Orlando, M. A. D. Gonçalves, R. Kummer, and F. P. Bortolozzo. 2019. Impact of feed intake during late gestation on piglet birth weight and reproductive performance: A dose-response study performed in gilts. *J. Anim. Sci.* 97:1262–1272. doi:10.1093/jas/skz017.
- Mallmann, A. L., G. S. Oliveira, R. R. Ulguim, A. P. G. Mellagi, M. L. Bernardi, U. A. D. Orlando, M. A. D. Gonçalves, R. J. Cogo, and F. P. Bortolozzo. 2020. Impact of feed intake in early gestation on maternal growth and litter size according to body reserves at weaning of young parity sows. *J. Anim. Sci.* 98. doi:10.1093/jas/skaa075.
- Mansilla, W. D., J. K. Htoo, and C. F. M. de Lange. 2017. Replacing dietary nonessential amino acids with ammonia nitrogen does not alter amino acid profile of deposited protein in the carcass of growing pigs fed a diet deficient in nonessential amino acid nitrogen. *J. Anim. Sci.* 95:4481–4489. doi:10.2527/jas2017.1631.
- Mathai, J. K., J. K. Htoo, J. E. Thomson, K. J. Touchette, and H. H. Stein. 2016. Effects of dietary fiber on the ideal standardized ileal digestible threonine:lysine ratio for twenty-five to fifty kilogram growing gilts. *J. Anim. Sci.* 94:4217–4230. doi:10.2527/jas.2016-0680.
- Menegat, M. B., S. S. Dritz, C. M. Vier, M. D. Tokach, J. M. DeRouchey, J. C. Woodworth, and R. D. Goodband. 2018. Update on feeding strategies for the highly prolific sow. In: 49th AASV Annual Meeting.
- Menegat, Mariana B., S. S. Dritz, M. D. Tokach, J. C. Woodworth, J. M. DeRouchey, and R. D. Goodband. 2020a. Phase-feeding strategies based on lysine specifications for grow-finish pigs. *J. Anim. Sci.* 98. doi:10.1093/jas/skz366.
- Menegat, Mariana B., S. S. Dritz, M. D. Tokach, J. C. Woodworth, J. M. DeRouchey, and R. D. Goodband. 2020b. A review of compensatory growth following lysine restriction in grow-finish pigs. *Transl. Anim. Sci.* 4:531–547. doi:10.1093/tas/txaa014.
- Merriman, L. A., C. L. Walk, M. R. Murphy, C. M. Parsons, and H. H. Stein. 2017. Inclusion of excess dietary calcium in diets for 100- to 130-kg growing pigs reduces feed intake and daily gain if dietary phosphorus is at or below the requirement. *J. Anim. Sci.* 95:5439–5446. doi:10.2527/jas2017.1995.
- Miller, K., and T. A. Kellner. 2020. Impact of pre-farrow feeding amount and timing on stillborn rate of sows. *J. Anim. Sci.* 98:100. doi:10.1093/jas/skaa054.173.
- Millet, S., M. Aluwé, J. De Boever, B. De Witte, L. Doudah, A. Van den Broeke, F. Leen, C. De Cuyper, B. Ampe, and S. De Campeneere. 2018. The effect of crude protein reduction on performance and nitrogen metabolism in piglets (four to nine weeks of age) fed two dietary lysine levels. *J. Anim. Sci.* 96:3824–3836. doi:10.1093/jas/sky254.
- Moeser, A. J., K. A. Ryan, P. K. Nighot, and A. T. Blikslager. 2007. Gastrointestinal dysfunction induced by early weaning is attenuated by delayed weaning and mast cell blockade in pigs. *Am. J. Physiol. Liver Physiol.* 293:G413–G421. doi:10.1152/ajpgi.00304.2006.
- Moore, K. L., B. P. Mullan, and J. C. Kim. 2013. Blend-feeding or feeding a single diet to pigs has no impact on growth performance or carcass quality. *Anim. Prod. Sci.* 53:52–56. doi:10.1071/AN12053.
- Nemecek, J. E., F. Wu, M. D. Tokach, S. S. Dritz, R. D. Goodband, J. M. DeRouchey, and J. C. Woodworth. 2018. Effect of standardized ileal digestible lysine on growth and subsequent performance of weanling pigs. *Transl. Anim. Sci.* 2:156–161. doi:10.1093/tas/txy011.
- Nitikanchana, S., S. S. Dritz, M. D. Tokach, J. M. DeRouchey, R. D. Goodband, and B. J. White. 2015. Regression analysis to predict growth performance from dietary net energy in growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 93:2826–2839. doi:10.2527/jas.2015-9005.
- Noblet, J. and J. Van Milgen. 2004. Energy value of pig feeds: Effect of pig body weight and energy evaluation system. *J. Anim. Sci.* 82:229–238. doi:10.2527/2004.8213_supplE229x. NRC. 1998. Nutrient requirements of swine. 10th ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC. NRC. 2012. Nutrient requirements of swine. 11th ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC.
- NRC. 2012. Nutrient Requirements of Swine. National Academy Press.
- Orlando, U. A. D., R. Hinson, M. Goncalves, A. D. Woodward, and N. R. Augspurger. 2018. Determination of SID Lys:ME Requirements in 129 to 149 Kg Pigs. *J. Anim. Sci.* 96:165–166. doi:10.1093/jas/sky073.305.
- Orlando, U. A. D., C. M. Vier, W. R. Cast, N. Lu, R. Navales, and S. S. Dritz. 2021. Meta-analysis to determine the standardized ileal digestible lysine requirements of growing-finishing pigs from 11- to 150-kg. In: ASAS Midwest Animal Science Meetings.
- Peters, J. C., and D. C. Mahan. 2008. Effects of dietary organic and inorganic trace mineral levels on sow reproductive performances and daily mineral intakes over six parities. *J. Anim. Sci.* 86:2247–2260. doi:10.2527/jas.2007-0431.
- Richards, J. D., J. Zhao, R. J. Harrell, C. A. Atwell, and J. J. Dibner. 2010. Trace Mineral Nutrition in Poultry and Swine. *Asian-Australasian J. Anim. Sci.* 23:1527–1534. doi:10.5713/ajas.2010.r07.
- Rijnen, M. M. J. A., M. W. A. Verstegen, M. J. W. Heetkamp, and J. W. Schrama. 2003. Effects of two different dietary fermentable carbohydrates on activity and heat production in group-housed growing pigs. *J. Anim. Sci.* 81:1210–1219. doi:10.2527/2003.8151210x.

- Rochell, S. J., L. S. Alexander, G. C. Rocha, W. G. Van Alstine, R. D. Boyd, J. E. Pettigrew, and R. N. Dilger. 2015. Effects of dietary soybean meal concentration on growth and immune response of pigs infected with porcine reproductive and respiratory syndrome virus. *J. Anim. Sci.* 93:2987–2997. doi:10.2527/jas.2014-8462.
- Rojo, G. A. 2011. Evaluation of the effects of branched chain amino acids and corn-distillers dried grains by-products on the growth performance, carcass and meat quality characteristics of pigs. University of Illinois at Urbana-Champaign.
- Ruhr, L. P., G. D. Osweiler, and C. W. Foley. 1983. Effect of the estrogenic mycotoxin zearalenone on reproductive potential in the boar. *Am. J. Vet. Res.* 44:483–485.
- Ruth, M. R., and C. J. Field. 2013. The immune modifying effects of amino acids on gut-associated lymphoid tissue. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 4:1–10. doi:10.1186/2049-1891-4-27.
- Sauber, T. E., T. S. Stahly, N. H. Williams, and R. C. Ewan. 1998. Effect of lean growth genotype and dietary amino acid regimen on the lactational performance of sows. *J. Anim. Sci.* 76:1098–1111. doi:10.2527/1998.7641098x.
- Schinckel, A. P., M. E. Einstein, S. Jungst, J. O. Matthews, C. Booher, T. Dreading, C. Fralick, E. Wilson, and R. D. Boyd. 2012. Daily feed intake, energy intake, growth rate and measures of dietary energy efficiency of pigs from four sire lines fed diets with high or low metabolizable and net energy concentrations. *Asian-Australasian J. Anim. Sci.* 25:410–420. doi:10.5713/ajas.2011.11212.
- Shaw, D. J., R. D. Goodband, M. D. Tokach, S. S. Dritz, J. M. DeRouchey, J. C. Woodworth, A. B. Lerner, and H. E. Williams. 2018. Effects of added dietary salt on pig growth performance. *Transl. Anim. Sci.* 2:396–406. doi:10.1093/tas/txy085.
- Shaw, D. J., M. D. Tokach, R. D. Goodband, S. S. Dritz, J. C. Woodworth, J. M. Derouchey, A. B. Lerner, F. Wu, C. M. Vier, M. M. Moniz, and K. N. Nemecek. 2019. Effects of sodium and chloride source and concentration on nursery pig growth performance. *J. Anim. Sci.* 97:745–755. doi:10.1093/jas/sky429.
- She, Y., Q. Huang, D. Li, and X. Piao. 2017. Effects of proteinate complex zinc on growth performance, hepatic and splenic trace elements concentrations, antioxidative function and immune functions in weaned piglets. *Asian-Australasian J. Anim. Sci.* 30:1160–1167. doi:10.5713/ajas.16.0867.
- Shelton, N. W., C. R. Neill, J. M. DeRouchey, M. D. Tokach, R. D. Goodband, J. L. Nelssen, and S. S. Dritz. 2009. Effects of increasing feeding level during late gestation on sow and litter performance. *Kansas Agri. Exp. Stn. Res. Rep.* doi:10.4148/2378-5977.6780.
- Silva, G., R. Thompson, B. Knopf, L. Greiner, J. Soto, C. M. Vier, N. Lu, and U. A. D. Orlando. 2020. Effects of metabolizable energy and standardized ileal digestible lysine levels on lactating sow and litter performance. *J. Anim. Sci.* 98:95-96. doi:10.1093/jas/skaa054.166.
- Skinner, L. D., C. L. Levesque, D. Wey, M. Rudar, J. Zhu, S. Hooda, and C. F. M. de Lange. 2014. Impact of nursery feeding program on subsequent growth performance, carcass quality, meat quality, and physical and chemical body composition of growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 92:1044–1054. doi:10.2527/jas.2013-6743.
- Soto, J., L. Greiner, J. Connor, and G. Allee. 2011. Effects increasing feeding levels in sows during late gestation on piglet birth weights. *J. Anim. Sci.* 89:86.
- Soto, J. A., M. D. Tokach, S. S. Dritz, M. A. D. Gonçalves, J. C. Woodworth, J. M. DeRouchey, R. D. Goodband, M. B. Menegat, and F. Wu. 2019a. Regression analysis to predict the impact of dietary neutral detergent fiber on carcass yield in swine. *Transl. Anim. Sci.* 3:1270–1274. doi:10.1093/tas/txz113.
- Soto, J. A., M. D. Tokach, S. S. Dritz, J. C. Woodworth, J. M. DeRouchey, R. D. Goodband, and F. Wu. 2019b. Optimal dietary standardized ileal digestible lysine and crude protein concentration for growth and carcass performance in finishing pigs weighing greater than 100 kg. *J. Anim. Sci.* 97:1701–1711. doi:10.1093/jas/skz052.
- Speight, S. M., M. J. Estienne, A. F. Harper, R. J. Crawford, J. W. Knight, and B. D. Whitaker. 2012. Effects of dietary supplementation with an organic source of selenium on characteristics of semen quality and in vitro fertility in boars. *J. Anim. Sci.* 90:761–770. doi:10.2527/jas.2011-3874.
- Stein, H. H., L. A. Merriman, and J. C. González-Vega. 2016. Establishing a digestible calcium requirement for pigs. In: C. L. Walk, I. Kühn, H. H. Stein, M. T. Kidd, and M. Rodehutscord, editors. *Phytate destruction - consequences for precision animal nutrition*. Wageningen Academic Publishers. p. 207–216. doi:10.3920/978-90-8686-836-0_13.
- Stevermer, E. J., M. F. Kovacs, W. G. Hoekstra, and H. L. Self. 1961. Effect of Feed Intake on Semen Characteristics and Reproductive Performance of Mature Boars. *J. Anim. Sci.* 20:858–865. doi:10.2527/jas1961.204858x.
- Stähr, B., L. Rothe, and D. Waberski. 2009. Empfehlungen zur Gewinnung, Aufbereitung, Lagerung und Transport von Ebersperma. *Handbuch für Besamungsstationen*. Diss. med. vet. Stitftung Tierärztliche Hochschule Hannover
- Stewart, K. R., C. L. Bradley, P. Wilcock, F. Domingues, M. Kleve-Feld, and J. Hundley. 2016. Superdosing phytase fed to mature boars improves semen concentration and reproductive efficiency. *J. Anim. Sci.* 94:109. doi:10.2527/msas2016-231.

- Sulabo, R. C., J. Y. Jacela, M. D. Tokach, S. S. Dritz, R. D. Goodband, J. M. DeRouchey, and J. L. Nelssen. 2010. Effects of lactation feed intake and creep feeding on sow and piglet performance. *J. Anim. Sci.* 88:3145–3153. doi:10.2527/jas.2009-2131.
- Sutkevičienė, N., B. Bakutis, A. Banys, B. Karvelienė, A. Rutkauskas, J. Sabeckienė, and H. Žilinskas. 2009. The effect of the estrogenic mycotoxin zearalenone on boar reproductive potential and the dynamic of aspartate aminotransferase and alanine aminotransferase levels in the boar blood serum. *Vet. ir Zootech.* 46:73–77.
- Thomas et al. 2024 Midwest Animal Science Meeting. POP abstract.
- Thomas, L. L., M. D. Tokach, J. C. Woodworth, R. D. Goodband, S. S. Dritz, and J. M. DeRouchey. 2018. Effects of Added Soybean Isoflavones in Low Crude Protein Diets on Growth and Carcass Performance of Finishing Pigs from 260 to 320 lb. *Kansas Agric. Exp. Stn. Res. Reports.* 4. doi:10.4148/2378-5977.7684.
- Thompson, R., B. Knopf, C. M. Vier, L. Ning, R. C. Wayne, and U.A.D. Orlando. 2020. Evaluation of Different Vitamin Concentrations in a Commercial Wean-to-Finish Program. *J. Anim. Sci.* 98:170-171. doi:10.1093/jas/skaa054.302.
- Tokach, M. D., and R. D. Goodband. 2007. Feeding Boars for Optimum Sperm Production. In: *Proceedings of Swine Reproduction Preconference Symposium at 2007 AASV Annual Meeting.*
- Tokach, M. D., and M. A. D. Gonçalves. 2014. Impact of nutrition and other production factors on carcass quality in pigs. In: *Proc. Latin America Pork Expo. Foz do Iguacu, Brazil.* p. 9.
- Tokach, M. D., M. B. Menegat, K. M. Gourley, and R. D. Goodband. 2019. Review: Nutrient requirements of the modern high-producing lactating sow, with an emphasis on amino acid requirements. *Animal.* 13:2967–2977. doi:10.1017/S1751731119001253.
- Totafurno, A. D., L. A. Huber, W. D. Mansilla, D. Wey, I. B. Mandell, and C. F. M. De Lange. 2019. The effects of a temporary lysine restriction in newly weaned pigs on growth performance and body composition. *J. Anim. Sci.* 97:3859–3870. doi:10.1093/jas/skz196.
- Touchette, K., R. Hinson, and M. Goncalves. 2018. 49 Determination of Sid Val: Lys Requirements in Lactating Sows. *J. Anim. Sci.* 96:26–27. doi:10.1093/jas/sky073.047.
- Tous, N., R. Lizardo, B. Vilà, M. Gispert, M. Font-i-Furnols, and E. Esteve-Garcia. 2014. Effect of reducing dietary protein and lysine on growth performance, carcass characteristics, intramuscular fat, and fatty acid profile of finishing barrows. *J. Anim. Sci.* 92:129–140. doi:10.2527/jas.2012-6222.
- Tuffo, L. Del, M. D. Tokach, C. K. Jones, J. M. DeRouchey, and R. D. Goodband. 2019. Evaluation of different vitamin concentrations on grow-finish pig growth and carcass characteristics. *J. Anim. Sci.* 97:108–109. doi:10.1093/jas/skz122.192.
- Underwood, E. J., and F. Suttle. 1999. *The Mineral Nutrition of Livestock.* 3rd ed. CAB International, Wallingford, UK.
- Vier, C. M., S. S. Dritz, F. Wu, M. D. Tokach, J. M. DeRouchey, R. D. Goodband, M. A. D. Gonçalves, U. A. D. Orlando, and J. C. Woodworth. 2019a. Effects of standardized total tract digestible phosphorus on growth performance of 11- to 23-kg pigs fed diets with or without phytase. *J. Anim. Sci.* 97:4032–4040. doi:10.1093/jas/skz255.
- Vier, C. M., S. S. Dritz, F. Wu, M. D. Tokach, J. M. DeRouchey, R. D. Goodband, M. A. D. Gonçalves, U. A. D. Orlando, K. Chitakasempornkul, and J. C. Woodworth. 2019b. Standardized total tract digestible phosphorus requirement of 24-to 130-kg pigs. *J. Anim. Sci.* 97:4023–4031. doi:10.1093/jas/skz256.
- Vier, C. M., S. S. Dritz, M. D. Tokach, J. M. DeRouchey, R. D. Goodband, M. A. D. Gonçalves, U. A. D. Orlando, J. R. Bergstrom, and J. C. Woodworth. 2019c. Calcium to phosphorus ratio requirement of 26-to 127-kg pigs fed diets with or without phytase. *J. Anim. Sci.* 97:4041–4052. doi:10.1093/jas/skz257.
- Wähner, M., M. Geyer, G. Hallfarth, and U. Hühn. 2004. Der einfluss von zulagen einer vitaminemulsion mit L-Carnitin auf die spermaeigenschaften von besamungsebern. *Zuchtungskunde.* 76:196–207.
- Whang, K. Y., F. K. McKeith, S. W. Kim, and R. A. Easter. 2000. Effect of starter feeding program on growth performance and gains of body components from weaning to market weight in swine. *J. Anim. Sci.* 78:2885–2895. doi:10.2527/2000.78112885x.
- Whitney, M. H., and C. Masker. 2010. Replacement gilt and boar nutrient recommendations and feeding management. *Pork Information Gateway.* Available from: <https://porkgateway.org/resource/replacement-gilt-and-boar-nutrient-recommendations-and-feedingmanagement/>.
- Wolter, B. F., M. Ellis, B. P. Corrigan, J. M. DeDecker, S. E. Curtis, E. N. Parr, and D. M. Webel. 2003. Impact of early postweaning growth rate as affected by diet complexity and space allocation on subsequent growth performance of pigs in a wean-to-finish production system. *J. Anim. Sci.* 81:353–359. doi:10.2527/2003.812353x.

- Wu, F., M. D. Tokach, S. S. Dritz, J. C. Woodworth, J. M. DeRouchey, R. D. Goodband, M. A. D. Gonçalves, and J. R. Bergstrom. 2018. Effects of dietary calcium to phosphorus ratio and addition of phytase on growth performance of nursery pigs. *J. Anim. Sci.* 96:1825–1837. doi:10.1093/jas/sky101.
- Xue, L., X. Piao, D. Li, P. Li, R. Zhang, S. Kim, and B. Dong. 2012. The effect of the ratio of standardized ileal digestible lysine to metabolizable energy on growth performance, blood metabolites and hormones of lactating sows. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 3:11. doi:10.1186/2049-1891-3-11.
- Yang, H., J. E. Pettigrew, L. J. Johnston, G. C. Shurson, and R. D. Walker. 2000. Lactational and subsequent reproductive responses of lactating sows to dietary lysine (protein) concentration. *J. Anim. Sci.* 78:348–357. doi:10.2527/2000.782348x.
- Zhai H, Bergstrom JR, Zhang J, et al. Use of fixed calcium to phosphorus ratios in experimental diets may create bias in phytase efficacy responses in swine. *Transl Anim Sci.* 2022;6(3):txac124. Published 2022 Aug 29. doi:10.1093/tas/txac124

セクション P

謝辞

今回の新栄養ガイドラインのため、数多くの試験・調査に協力し、またレビューに時間を費やしてくださった方々に感謝を申し上げます。

Alexandre Gomes Rocha (Aurora Alimentos, Brazil)
Annie Clark (Schwartz farms, USA)
Fangzhou Arkin Wu (Pipestone, USA/China)
Carlos Kippert Jr. (BRF, Brazil)
Fernando Bortolozzo (Federal University of Rio Grande do Sul, Brazil)
Gonzalo Castro (Consultant, Chile)
Jose Soto (Ajinomoto, USA)
Keysuke Muramatsu (JBS Foods, Brazil)
Kyle Coble (JBS Foods, USA)
Laura Greiner (Iowa State University, USA)
Malachy Young (Gowans, Canada)
Melissa Hannas (Federal University of Viçosa, Brazil)
Merlin Lindemann (University of Kentucky, USA)
Mick Hazzledine (AB Agri, UK)
Mike Tokach (Kansas State University, USA)
Pau Aymerich (Vall Companys, Spain)
Rommel Sulabo (University of the Philippines, Philippines)
Simon Turner (Roslin Institute, UK)
Sung Woo Kim (North Carolina State University, USA)
Tom Crenshaw (University of Wisconsin, USA)
Wenye Zhang (Shiyang Group, China)

加えて、全ての参考文献の整理や確認をしてくださった Leopoldo Almeida 氏(ブラジル・パラナ連邦大学 博士(PhD)課程)にも感謝を申し上げます。



Never
Stop
Improving