

第 23 章

育成-仕上期に DDGS 高配合率の飼料を給餌する際の脂肪品質の管理

はじめに

飼料が豚脂肪の硬度に影響を及ぼすことは何年も前から知られている。1926 年、米国農務省の研究者らは、ピーナッツまたは大豆を含む飼料を給与すると、トウモロコシ主体飼料を給与した場合と比較して、豚枝肉の脂肪が大幅に軟化することを明らかにした (Ellis と Isbell, 1926)。にもかかわらず、養豚業界では最近まで飼料と脂肪の硬度との関係にさほど関心が寄せられていなかったが、DDGS 高配合飼料 (> 30%) を育成期-仕上期の豚に給与した結果、飼料経費が削減されるようになると、多くの国や市場で枝肉脂肪の軟化が大きな問題となってきている。

豚脂肪の硬度は豚肉品質全体の中でも重要な特性であり、豚肉の保存期間および風味に大きな影響を及ぼす脂肪の脂肪酸組成によって左右される (Wood ら、2003)。豚肉品質に加え、豚脂肪の脂肪酸組成もまた豚肉の食肉加工特性に影響を及ぼす。軟脂肪の豚肉はベーコン用に効率よく高速度でスライスするために必要とされる硬さが不足し、その他の豚肉加工作業のスピードを遅らせる可能性がある。その結果、豚肉加工業者は豚肉製品用として硬い脂肪を好むことになるが、こうした脂肪には飽和脂肪酸が比較的多く含まれる。これとは対照的に、消費者の多くは自らの飽和脂肪の摂取量を減らしたいと考えており、そのため一般的に、脂肪が柔らかい不飽和脂肪酸の多い脂肪を好む。結果として、養豚業界に対する相反する需要があるため、豚脂肪の品質管理が難しくなっている。

豚脂肪の硬度に関する生物学

豚脂肪の硬度には、脂肪を構成する飽和脂肪酸 (SFA) と多価不飽和脂肪酸 (PUFA) の割合が直接関与している (Wood ら、2003)。一般に、PUFA/SFA 比率はヨウ素価 (IV) と呼ばれ、脂肪や油分の二重結合の数 (不飽和度) を計るためにヨウ素を用いる研究所の手順に基づいている。SFA (二重結合のない脂肪酸) が高い割合で含まれている脂肪は室温では固体状態になり、比較的 IV 値が低い。脂肪酸の不飽和度 (二重結合の存在) が上昇すると、融点が低下し、IV 値が高くなり、脂肪は室温で液体になる。そのため、IV 値が高くなるほど、豚脂肪は柔らかくなる。豚脂肪では、IV 値およびその結果としての脂肪の硬度はリノール酸/ステアリン酸比率に大きな影響を受ける (Wood ら、2003; Nishioka と Irie, 2006)。Hugo と Roodt (2007) は複数の研究者による科学的研究を検討し、許容可能な豚脂肪の硬度はリノール酸が 12 から 15%、飽和脂肪酸が 41%より多く含まれている場合に得られることを示唆した。

豚脂肪の脂肪酸の組成は飼料に含まれる脂肪の量とその組成、および内因性脂肪酸合成の結果による。飼料から摂取する脂肪酸はそのまま豚の体内に蓄積され、内因性合成の脂肪酸は主として飽和脂肪酸から構成される。従って、豚枝肉の脂肪は飼料に含まれる脂肪の脂肪酸組成を反映し (Ellis と Isbell, 1926; Averette Gatlin ら、2002; Jackson ら、2009)、内因性脂肪酸合成によって修正される。遺伝子学的観点からは、脂肪の少ない豚は内因性脂肪酸合成が少ないため、枝肉脂肪の少ない豚に PUFA の割合が高い飼料を給与すると、脂肪が蓄積され易い豚に同様の飼料を給与した場合よりも脂肪が柔らかくなる傾向が見られる。飼料の脂肪濃度が増加すると、豚のデノボ脂肪合成

が抑制され (Azain ら、2004) るため、飼料中の脂肪は豚枝肉脂肪の組成に対しより大きな影響を及ぼすことになる。

豚脂肪の硬度はどのように計測するのか？

豚脂肪の硬度を定量化するための複数の物理的方法は、インストロン圧縮試験、デュロメーター、硬度計、針入度計を含め、評価試験の対象となってきたが、これらの精度では一貫性のある試験結果が得られない (Apple ら、2010)。ベリーフロップ試験またはベリーフレックス試験は広く用いられている方法で、豚の腹肉を高い位置に取り付けた棒に掛けて柔軟性を測定する (Thiel-Cooper ら、2001; Rentfrow ら、2003; Whitney ら、2006)。腹肉の柔軟性が最小であれば、脂肪が硬いことが示される。しかしながら、腹肉の厚み、腹肉の温度、棒上での腹肉の位置 (皮側が上か下か)、腹肉に含まれる水分といったその他の要素すべてが結果に影響を及ぼす可能性がある (Apple ら、2010)。

ヨウ素価 (IV) は不飽和脂肪酸/飽和脂肪酸比率を化学的に測定するもので、豚脂肪の硬度を測定する方法としては最も一般的に用いられているもののひとつである。ヨウ素価は研究室で直接測定することができるが、通常は予測式を用いて脂肪試料の脂肪酸組成から算出する (AOCS、1998)。一般的な豚脂肪の IV 値は 55 から 95 の範囲で、値が高いほど脂肪が柔らかいことを示す。最近になって、Apple (2010) は、AOCS (1998) によって開発された予測式には鎖がより長い脂肪酸が含まれていないことから、脂肪の硬度を定量化する上での IV の精度に疑問を呈している。7 つの長鎖脂肪酸を追加して IV 値を算出した Meadus ら (2010) の数式の方が脂肪の硬度をより正確に予測できると思われるが、検証は必要である。

現在のところ、豚肉処理を行う商業施設で正確かつスピーディーに豚脂肪の硬度を見極めることのできる安価な方法は存在しない。そのため、豚脂肪の硬度に基づいて豚枝肉を定量的に差別化することは困難である。

どの部位で脂肪の硬度を測定すべきか？

豚は体内の幾つかの部位に脂肪を蓄積し脂肪酸組成は部位によって異なるため、試料の採取を 1 個所の貯蔵脂肪だけに限ると、脂肪硬度の評価が影響を受ける可能性がある。Cromwell ら (2011) は、豚の背脂肪層の深いところでは浅いところよりも SFA の割合が高く、PUFA の割合は低いことを示した。Wiegand ら (2011) は、異なるエネルギー価を有する飼料にラクトパミンを加えたものと加えていないものを給与した豚の異なる部位 4 個所の貯蔵脂肪を調べ、IV との相関性が弱く一貫性のないことを見いだした。彼らは、豚が一定の体重に達した場合に屠畜されたが、それぞれに生理学上の成熟度が異なるため、ほお肉の脂肪の IV は腹の脂肪の IV の正確な指標とはならないことを示した。しかしながら、他の研究者らの報告では、異なる部位の貯蔵脂肪の IV 値間に一貫性が認められる。背脂肪の外側と内側の層を別々にではなくひとつの試料として採取した場合、背脂肪の IV は腹脂肪の IV と非常に似通った値を示す (Averette Gatlin ら、2003; Jacela ら、2011)。これとは対照的に、Xu ら (2010b) は背脂肪の IV 値は腹脂肪の IV 値を下回るが、枝肉の IV の値が増加するに従ってこれらの推定値が似通ったものになっていくことを見いだした。Leick ら (2010) は、ほお肉の脂肪の IV 値、総一価不飽和脂肪酸 (MUFA)、総 PUFA および MUFA/PUFA 比率は腹脂肪のそれぞれの値と高い相関関係があることを報告した。彼らの試験では、ほお肉の脂肪の IV 値は腹の脂肪の IV 値を約 5% 下回っているが、Jacela ら (2011) の試験ではほお肉脂肪 IV 値と腹脂肪 IV 値は基本的に同じ値であった。腹肉の脂肪を傷付けずに試料採取することが困難であることから、

ほお肉の脂肪を用いるときは腹の脂肪の IV 値を僅かに過小評価する可能性のあるということを認識した上で、背脂肪およびほお肉脂肪のいずれによっても腹脂肪の硬度を妥当に推定することは可能であると考えられる。

豚脂肪の硬度に影響を及ぼす遺伝学的要素および管理要素

豚の遺伝的改良

現在の遺伝的系統の豚については、枝肉脂肪は、10 年または 15 年前に屠畜されていた豚の脂肪を大幅に下回る。非常に脂肪の少ない遺伝子を持つ豚では主として飽和脂肪酸を生成するデノボ脂肪酸合成が低下しており、枝肉の脂肪組成は飼料に含まれる脂肪の組成がより直接的に反映される結果となっている。飼料に含まれる脂肪が、動物の脂肪ではなく、多価不飽和脂肪酸をより多く含む植物性油から供給される場合には、枝肉脂肪は柔らかくなる。

雄雌の差

未経産若齢雌豚の枝肉は体重および生理学的成熟度が同じ去勢豚の枝肉よりも赤身が多く脂肪が少ない。そのため、一般に PUFA を多く含む飼料を給与した未経産雌豚の IV 値は去勢豚の値を上回る結果となる。

管理要素

一般に、空間的余裕が少なかったり、飼料の摂取に制限が加えられたり、環境温度が高いといったような畜舎の条件下では枝肉脂肪が減少する。枝肉脂肪の減少に従って、飼料中の脂肪酸組成が豚脂肪の IV に及ぼす影響が増加する。

DDGS が豚肉品質に及ぼす影響

育成期-仕上期の飼料に DDGS を配合しても、筋肉の品質、摂食特性および豚肉の保存期間に影響はないが、特に DDGS の配合率が高い場合には (> 20%) 腹肉および豚肉全体の脂肪の質に悪影響が発生する可能性がある (Xu ら、2010a)。育成期-仕上期の飼料に DDGS を配合すると、明らかに脂肪の硬度が低下し、豚腹肉の柔軟性すなわち柔らかさが増加する (Stein と Shurson, 2009)。この反応は主として、DDGS に含まれるトウモロコシ油のリノール酸 (C18:2) の濃度が高い (58%) ことが原因である。仕上豚に給与する飼料の DDGS 配合率を 30%まで (Xu ら、2010b) または 45%まで (Cromwell ら、2011) 引き上げると、腹の締まりの線形減少に一致して、枝肉脂肪の IV 値およびリノール酸含有率が線形に増加する結果となっている。同様に、Widmer ら (2008) は、DDGS を 20%含む飼料の場合に腹肉の締まりが低下するが、配合率が 10%の場合には低下しないことを見いだした。

DDGS が豚脂肪品質に及ぼす影響を最小限に抑えるための給与および飼料設計戦略

仕上期後期の DDGS 除去または配合率の引き下げ

DDGS 高配合飼料の給与が豚脂肪の硬度に及ぼす悪影響を最小限に抑える最も実用的な方法は、仕上期後期の飼料に配合する DDGS の量を大幅に減らすか、DDGS を無配合にすることである。Xu ら (2010b) によれば、屠畜 3 週間前まで 30%DDGS 飼料を給与し、その後飼料から DDGS を取り除くと、背脂肪および腹脂肪は現在の米国養豚業界の基準に照らして合格レベルとされる IV 値 70 を下回る結果となった。Hill ら (2008) も同様の結果を報告している。突然 DDGS 無配合飼料に変えても豚の成績に悪影響はないと考えられることから、急に飼料から DDGS を排除することも可能である (Hilbrands ら、2009 ; 2011)。

豚の生理学的な状態に応じて脂肪は継続的に蓄積・代謝されるので、豚の脂肪組織は動的である。脂肪組織の活動が非常に活発であるため、脂肪組織内の脂肪の組成に急激な変化が発生する。Wood ら (1994) は、脂肪組織の脂肪酸組成の変化の多くは飼料を変更してから 25 日以内に発生することを示唆した。同様に、仕上期の豚に給与する飼料から DDGS を取り去ると、その後ちょうど 21 日で腹の脂肪の IV 値が 5%低下している (Xu ら、2010a)。Warnants ら (1999) の報告では、変化はもっと早い時期に起こる。彼らの試験では、獣脂 2.5%の飼料から全脂肪が含まれる大豆 15%の飼料に切り替えた場合、リノール酸が背脂肪に取り込まれるという変化の約 50%はその後 14 日で発生している。飼料の切り替えから 6 週間以内に背脂肪の脂肪酸組成が横ばい状態に達する。同様に、Averette Gatlin ら (2002) は、豚脂肪の脂肪酸組成および IV 値の大幅な変化が 6 週間という短い期間で達成されると結論付けている。

従って、屠畜の 3 から 6 週間前の飼料の脂肪組成の変化が豚枝肉脂肪の組成および硬度に大幅な影響を及ぼすことになる。脂肪補完用の飼料原材料または高脂肪原材料を完全に飼料から取り除いた場合にこの影響が最も大きくなる。不飽和脂肪酸の濃度が比較的高い飼料から飽和脂肪が多く含まれる飼料に切り替えるか、飼料に含まれる不飽和脂肪酸の濃度を引き下げると、枝肉の脂肪組成が変化するが、枝肉脂肪の望ましいレベルの硬度が得られない可能性がある。

低脂肪 DDGS の給与 (RF-DDGS)

米国では相当数のエタノールプラントが DDGS から油分を抽出しており、従来の DDGS (粗脂肪率 10 から 12 %) と比較して、低脂肪 DDGS (粗脂肪率 3 から 9%) の給与によって腹の脂肪に含まれる PUFA の含有率が減少し、仕上期の豚の屠畜で得られる腹肉の締まりが改善している (Dahlen ら、2011)。しかしながら、DDGS から油分の一部を除去すると、DDGS の代謝エネルギー (ME) 含量も減少し、飼料に用いるエネルギー源としての価値が低下する。Jacela ら (2011) による別の試験では、RF-DDGS (粗脂肪 3.5%) を給与した場合には、このような腹脂肪の PUFA 含有率の減少は観察されなかった。ただし、この試験では任意のホワイトグリースを飼料補完のために用いて飼料中のエネルギー密度を標準化していた。このことが枝肉の脂肪酸組成に影響を及ぼした可能性が高いと考えられる。

ヨウ素価産物 (IVP) に基づいた飼料設計

ヨウ素価産物 (IVP) というコンセプトは、豚脂肪の品質を管理するための、幾つかの成功実績と併に使用される飼料設計戦略である。これは Madsen ら (1992) によって開発されたもので、飼料および枝肉の IV 値が分かれば、豚の枝肉脂肪を IV 目標値に近づけるために飼料設計に調整を加えることができるというコンセプトに基づいている。ヨウ素産物の値は、飼料に含まれる各原材料の

脂肪量および IV 値などから算出して、最終的に目標とする飼料 IV 仕様値に適合させる。この数式は後に Boyd ら (1997) によって、背脂肪 $IV = 0.32 (IVP) + 52.4$ および $IVP = \text{飼料油分の } IV \times \% \text{飼料油分} \times .1$ に修正された。成長率、遺伝的要素、健康状態といった、リノール酸が豚脂肪の硬度に及ぼす影響を過小評価させやすい交錯した複数の要素が存在するため、IVP を使用しても常に希望する最終枝肉 IV 値になるとは限らない。トウモロコシ DDGS の IVP 値はトウモロコシ (47)、大麦 (23)、小麦 (23) および大豆粕 (18) よりもかなり高い (112)。そのため、飼料設計で用いる IVP は、生育期-仕上期の豚に DDGS 飼料を給与する場合に、豚脂肪品質の問題を管理する上で役立つもう一つのツールである。Cast (2010) は、IVP の値は絶対的ではなく、枝肉脂肪の IV 値を改善するための目安として使用することができるものであることを示している。彼によれば、現在給与している飼料の IVP と、結果としての目標貯蔵脂肪の IV の値を知っておく必要がある。この情報があれば、飼料を再設計して IV 値を低く抑え、その後枝肉脂肪の IV 値に及ぼす影響を監視することができる。このアプローチは現場に依存するものではあるが、役立つ方法である。

仕上期飼料の代替原材料としての穀物の使用

仕上期飼料に各種穀物を使用すると、豚脂肪の硬度に影響を及ぼすことがある。Lampe ら (2006) は仕上期豚用のトウモロコシ飼料と大麦飼料を比較し、大麦飼料では皮下脂肪の PUFA が大幅に減少し、SFA が増加した結果、VI 値が約 4 ユニット減少することを見いだした。大麦および小麦主体の飼料を給与すると、豚脂肪の IV 値はトウモロコシ-大豆粕飼料を給与した場合の値を下回る。Beltranena ら (2009) によると、カナダ西部の飼料 (小麦、大麦および菜種粕) を給与した場合の豚脂肪の IV 値は、米国で用いられているトウモロコシ-大豆粕主体の飼料を給与した場合の値を下回ることから、豚脂肪の IV 値を引き上げるためには、継続的に 30%DDGS 飼料を給与するより、小麦および大豆主体飼料からトウモロコシ DDGS を取り除く方がより適切な戦略となる。Benz ら (2011) は、トウモロコシ主体飼料と比較して、ソルガム主体の仕上期飼料はほお肉脂肪および背脂肪の IV を約 2 ユニット減少させることを見いだした。これとは対照的に、Carr ら (2005) が豚用飼料のトウモロコシ、小麦および大麦を比較した試験では、枝肉脂肪の脂肪酸組成にも IV 値にも差は認められなかった。Han ら (2005) は、トウモロコシ主体飼料や小麦主体飼料を給与しても背脂肪の脂肪酸組成に変化のないことを報告している。飼料中のトウモロコシをリノール酸含有率の低い穀物で置換すると、脂肪の硬度に有益な効果があると考えられるが、この反応は常に観察されるとは限らない。

DDGS 飼料への飽和脂肪の添加

DDGS 飼料にさらに多くの動物性飽和脂肪原材料を添加すると、豚脂肪の品質の反応にばらつきが発生する結果となる。Stevens ら (2009) は、26 日間の DDGS 休止プログラム期間中、トウモロコシ-大豆粕 DDGS 飼料に 5%の任意のホワイトグリース (豚脂肪) を添加したものと添加しないものを給与した結果、DDGS に含まれるリノール酸の増加によって引き起こされる豚脂肪の品質への悪影響が一部ある程度回復できることを示した。ただし、完全に豚脂肪品質を回復させるためにはより長い DDGS の休止期間が必要であることも明らかにした。飽和脂肪酸が多く含まれる (70%) 乾燥動物脂肪原材料 (飼料配合率 4%) を加えても、飼料に 30%DDGS を配合した結果高くなった IV 値を引き下げることはできなかった (Freitas ら、2009)。これは試験に用いられた飽和脂肪の消化率が低いことが最も確率の高い原因になっていると考えられる。最近になって実施されたミネソタ大学での試験 (Pomerence ら、2011) では、30%DDGS 飼料に 5%の獣脂を加えても豚腹肉の締まりに改善は見られなかった。これらの試験の結果を踏まえ、DDGS 飼料を給与された豚の脂肪

品質に各種の脂肪原材料が及ぼす影響の有無を理解するため、我々は各種原材料の脂肪酸消化率について更に詳しく学ぶ必要がある。

共役リノール酸（CLA）の給与

共役リノール酸は、育成-仕上期の豚用飼料に用いることが米国では認められているが、豚の体内に蓄積される脂肪の量および組成に影響を及ぼす可能性がある。飼料に含まれる CLA の割合が 0.12 から 0.6%である場合には、屠畜時の豚の第 10 肋骨背脂肪の厚さが大幅に減少する（Thiel-Cooper ら、2001；Weber ら、2006）。加えて、飼料中の CLA は豚脂肪の IV 値も減少させる（Thiel-Cooper ら、2001；Dugan ら、2004；Weber ら、2006；White ら、2009）。CLA は不飽和脂肪酸の合成に関与するデサチュラーゼ酵素の作用を抑制することから、豚脂肪の脂肪酸組成にこのような変化が起こる（Smith ら、2002）。酵素作用および脂肪酸組成が変化すると、CLA が飼料に 0.50 から 1.0%配合されている場合には、CLA によって豚腹肉の締りが増加する（Thiel-Cooper ら、2001；Weber ら、2006；Larsen ら、2009）。

CLA を給与することで脂肪の硬度が一貫して改善することから、DDGS 高配合飼料への添加という独特な CLA 使用法が可能であることが示唆される。White ら（2009）は DDGS を 0、20 または 40%配合し、それぞれに CLA を 0.6%添加したものと添加しないものを豚に給与し、脂肪の硬度という観点では飼料に含まれる DDGS と CLA との間に相互影響はないことを見出した。これは、CLA が DDGS の配合率とは無関係に脂肪の硬度に同様の効果を及ぼすことを示している。さらに、この研究者らによると、CLA は DDGS による脂肪の硬度への悪影響を一部軽減することができる。さらに新しい試験では、Ochoa ら（2010）は DDGS を含まない飼料と 30%含む飼料に CLA を 0、0.5 または 1.0%添加して去勢豚に給与した。この試験でも DDGS と CLA との間に相互影響は認められなかったが、飼料に CLA を 1.0%添加すると、枝肉の赤身が増加し、腹肉の締まりが改善することが観察された。しかし、背脂肪の IV 値には影響がなかった。従って、枝肉脂肪の IV 値を引き下げる目的で仕上期後期の飼料に CLA を添加して使用できると考えられるが、CLA は米国ではコストの問題から現在のところ使用されておらず、他国では入手できないか使用が承認されていない。

粗グリセロールの給与

バイオディーゼル製造後に残るトリグリセリドは3つの炭素を持つグリセロールから成る。入手可能で経済的である場合には、粗グリセロールを豚のエネルギー源として用いることができる。グリセロールを 5%含む飼料は背脂肪の PUFA、リノール酸およびリノレン酸の濃度を引き下げ、その一方で一価不飽和脂肪酸、オレイン酸の濃度を引き上げる（Mourot ら、1994）。Lammers ら（2008）は、飼料に含まれるグリセロールが 10%に増加すると、豚肉ロインチョップの脂肪に含まれるリノール酸の濃度が減少すると報告している。枝肉脂肪の脂肪酸組成のこうした僅かな変化によって、豚脂肪の硬度が増加する結果となる可能性がある。Schieck ら（2010）は屠畜前の 8 週間または 14 週間、粗グリセロールを 8%含む飼料を育成期-仕上期の豚に給与した。この研究者らは、グリセロールを含まない飼料を給与した場合と比較して、8 週間グリセロールを給与した豚では腹肉の締まりが 40%改善することを見いだした（ベリーフレックス試験による測定）。残念ながら、この試験では腹脂肪の脂肪酸組成を計測しておらず、こうした制限付きのデータではあるものの、豚枝肉の脂肪の硬度を改善する上で、飼料へのグリセロールの添加はある程度有用であることを示唆している。

結論

育成期-仕上期の豚に給与する飼料の DDGS 配合率が増加するに従い、豚脂肪の硬度は線形減少を示し、脂肪の多い豚よりも脂肪の少ない豚の方がその影響は大きい。豚脂肪のヨウ素価は枝肉の部位によって異なり、このことは望ましい豚脂肪 IV 基準値を達成するために豚脂肪を測定する際に考慮すべきである。現在のところ、DDGS 高配合飼料を給与した場合の悪影響を最小限に抑えるための最も有効で実用的な方法は、1) 屠畜前の 3 から 6 週間は、飼料に含まれる一般的な DDGS (10 から 12%粗脂肪) の配合率を引き下げるか、完全に取り除く、2) RF-DDGS を給与する、3) IVP 仕様に基づいて飼料設計を行い、枝肉脂肪への影響を監視する 4) 育成期-仕上期飼料のトウモロコシを小麦、大麦またはソルガムで置換する等である。

References

- Apple, J. 2010. Beyond Iodine Value: Measuring belly/fat firmness. 63rd Reciprocal Meats Conf., Amer. Meat Sci. Assoc. June 22, Lubbock, TX.
- AOCS. 1998. Official Methods and Recommended Practices of the AOCS. 5th ed. Recommended practice Cd 1c-85. Am. Oil. Chem. Soc., Champaign, IL.
- Averette Gatlin, L., M. T. See, J. A. Hansen, and J. Odle. 2003. Hydrogenated dietary fat improves pork quality of pigs from two lean genotypes. *J. Anim. Sci.* 81:1989-1997.
- Averette Gatlin, L., M. T. See, J. A. Hansen, D. Sutton, and J. Odle. 2002. The effects of dietary fat sources, levels, and feeding intervals on pork fatty acid composition. *J. Anim. Sci.* 80:1606-1615.
- Azain, M. J. 2004. Role of fatty acids in adipocyte growth and development. *J. Anim. Sci.* 82:916-924.
- Beltranena, E., J. Aalhus, M. Dugan, M. Young, N. Campbell, M. Oryschak, and R. Zijlstra. 2009. High dietary inclusion of corn distillers dried grain with solubles (DDGS) and withdrawal rates on pork quality. Final Report. Alberta Livestock Industry Development Fund Ltd.
- Benz, J. M., M. D. Tokach, S. S. Dritz, J. L. Nelssen, J. M. DeRouchey, R. C. Sulabo, and R. D. Goodband. 2011. Effects of increasing choice white grease in corn- and sorghum-based diets on growth performance, carcass characteristics, and fat quality characteristics of finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 89:773-782.
- Boyd, R.D., Johnston, M.E., Scheller, K., Sosnicki, A.A., and Wilson, E.R. 1997. Relationship between dietary fatty acid profile and body fat composition in growing pig. PIC USA T & D Technical Memo 153. Pig Improvement Company, USA, Franklin, Kentucky.
- Carr, S. N., P. J. Rincker, J. Killefer, D. H. Baker, M. Ellis, and F. K. McKeith. 2005. Effects of different cereal grains and ractopamine hydrochloride on performance, carcass characteristics, and fat quality in late-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 83:223-230.
- Cast, W. 2010. Formulating diets to iodine product specifications. Proc. 71st MN Nutrition Conf. University of Minnesota, Owatonna, MN. Pg. 153-159.
- Cromwell, G. L., M. J. Azain, O. Adeola, S. K. Baidoo, S. D. Carter, T. D. Crenshaw, S. W. Kim, D. C. Mahan, P. S. Miller, and M. C. Shannon. 2011. Corn distillers dried grains with solubles in diets for growing-finishing pigs: A cooperative study. *J. Anim. Sci.* doi:10.2527/jas.2010-3704.
- Dahlen, R. B. A., S. K. Baidoo, G. C. Shurson, J. E. Anderson, C. R. Dahlen, and L. J. Johnston. 2011. Assessment of energy content of low-solubles corn distillers dried grains and effects on growth performance, carcass characteristics, and pork fat quality on growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* doi:10.2527/jas.2010-3342.
- Dugan, E. R., J. L. Aalhus, and J. K. G. Kramer. 2004. Conjugated linoleic acid pork research. *Am. J. Clin. Nutr.* 79(Suppl.):1212S-1216S.
- Ellis, N. R. and H. S. Isbell. 1926. Soft pork studies. II. The influence of the character of the ration upon the composition of the body fat of hogs. *J. Biol. Chem.* 69:219-238.
- Freitas, L.S., M.J. Azain, C.R. Dove, and T.D. Pringle. 2009. Effect of dietary distillers dried grains with solubles on performance and carcass characteristics in finishing hogs *J. Anim Sci* 87 (E.Suppl. 2):332.

- Han, Y. K., H. W. Soita, and P. A. Thacker. 2005. Performance and carcass composition of growing-finishing pigs fed wheat or corn-based diets. *Asian-Australasian J. Anim. Sci.* 18:704-710.
- Hilbrands, A. M., L. J. Johnston, G. C. Shurson, S. K. Baidoo, and L. W. O. Souza. 2011. Effects of diet change and digestibility of corn distillers dried grains with solubles (DDGS) on growth performance and carcass characteristics of growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 89(E-Suppl. 2):78(Abstr.).
- Hilbrands, A. M., L. J. Johnston, G. C. Shurson, and I. Kim. 2009. Influence of rapid introduction and removal of dietary corn distillers dried grains with solubles (DDGS) on pig performance and carcass characteristics. *J. Anim. Sci.* 87(E-Suppl. 3):82(Abstr.).
- Hill, G.M., J.E. Link, D.O. Liptrap, M.A. Giesemann, M.J. Dawes, J.A. Snedegar, N.M. Bello, and R.J. Tempelman. 2008. Withdrawal of distillers dried grains with solubles (DDGS) prior to slaughter in finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 86 (Suppl. 2):52.
- Hugo, A. and E. Roodt. 2007. Significance of porcine fat quality in meat technology: A review. *Food Rev. Inter.* 23:175-198.
- Jacela, J. Y., J. M. DeRouche, S. S. Dritz, M. D. Tokach, R. D. Goodband, J. L. Nelssen, R. C. Sulabo, R. C. Thaler, L. Brandts, D. E. Little, and K. J. Prusa. 2011. Amino acid digestibility and energy content of deoiled (solvent-extracted) corn distillers dried grains with solubles for swine and effects on growth performance and carcass characteristics. *J. Anim. Sci.* 89:1817-1829.
- Jackson, A. R., S. Powell, S. L. Johnston, J. O. Matthews, T. D. Bidner, F. R. Valdez, and L. L. Southern. 2009. The effect of chromium as chromium propionate on growth performance, carcass traits, meat quality, and fatty acid profile of fat from pigs fed no supplemented dietary fat, choice white grease, or tallow. *J. Anim. Sci.* 87:4032-4041.
- Lammers, P. J., B. J. Kerr, T. E. Weber, K. Bregendahl, S. M. Lonergan, K. J. Prusa, D. U. Ahn, W. C. Stoffregen, W. A. Dozier III, and M. S. Honeyman. 2008. Growth performance, carcass characteristics, meat quality, and tissue histology of growing pigs fed crude glycerin-supplemented diets. *J. Anim. Sci.* 86:2962-2970.
- Lampe, J. F., T. J. Baas, and J. W. Mabry. 2006. Comparison of grain sources for swine diets and their effect on meat and fat quality traits. *J. Anim. Sci.* 84:1022-1029.
- Larsen, S. T., B. R. Wiegand, F. C. Parrish Jr., J. E. Swan, and J. C. Sparks. 2009. Dietary conjugated linoleic acid changes belly and bacon quality from pigs fed varied lipid sources. *J. Anim. Sci.* 87:285-295.
- Leick, C. M., C. L. Puls, M. Ellis, J. Killefer, T. R. Carr, S. M. Scramlin, M. B. England, A. M. Gaines, B. F. Wolter, S. N. Carr, and F. K. McKeith. 2010. Effect of distillers dried grains with solubles and ractopamine (Paylean) on quality and shelf-life of fresh pork and bacon. *J. Anim. Sci.* 88:2751-2766.
- Madsen, A., K. Jakobsen, and H. Mortensen. 1992. Influence of dietary fat on carcass fat quality in pigs. A review. *Acta. Agric. Scand.* 42:220-225.
- Meadus, W. J., P. Duff, B. Uttaro, J. L. Aalhus, D. C. Rolland, L. L. Gibson, and M. E. R. Dugan. 2010. Production of docosahexaenoic acid (DH) enriched bacon. *J. Agric. Food Chem.* 58:465-472.
- Mourot, J., A. Aumaitre, A. Mounier, P. Peiniau, and A. C. Francois. 1994. Nutritional and physiological effects of dietary glycerol in the growing pig. Consequences on fatty tissues and post mortem muscular parameters. *Livest. Prod. Sci.* 38:237-244.
- Nishioka, T. and M. Irie. 2006. Fluctuation and criteria of porcine fat firmness. *Anim. Sci.* 82:929-935.
- Ochoa, L., M. Ellis, J. Eggert, B. Cousins, A. M. Gaines, and F. K. McKeith. 2010. Impact of dietary inclusion of distillers dried grains with solubles (DDGS) and conjugated linoleic acid (CLA) on pig growth performance, carcass characteristics, and meat and fat quality. *J. Anim. Sci.* 88(E-Suppl. 3):104(Abstr.).
- Pomeroy, J. M., G. C. Shurson, S. K. Baidoo, and L. J. Johnston. 2011. Tallow and DDGS effects pork fat quality. *J. Anim. Sci.* 89 (E-Suppl. 2):38.

- Rentfrow, G., T. E. Sauber, G. L. Allee, and E. P. Berg. 2003. The influence of diets containing either conventional corn, conventional corn with choice white grease, high oil corn, or high oil high oleic corn on belly/bacon quality. *Meat Sci.* 64:459-466.
- Schieck, S. J., G. C. Shurson, B. J. Kerr, and L. J. Johnston. 2010. Evaluation of glycerol, a biodiesel coproduct, in grow-finish pig diets to support growth and pork quality. *J. Anim. Sci.* 88:3927-3935.
- Smith, S. B., T. S. Hively, G. M. Cortese, J. J. Han, K. Y. Chung, P. Castenada, C. D. Gilbert, V. L. Adams, and H. J. Mersmann. 2002. Conjugated linoleic acid depresses the Δ^9 desaturase index and stearoyl coenzyme A desaturase enzyme activity in porcine subcutaneous adipose tissue. *J. Anim. Sci.* 80:2110-2115.
- Stein, H. H. and G. C. Shurson. 2009. Board-invited review: The use and application of distillers dried grains with solubles in swine diets. *J. Anim. Sci.* 87:1292-1303.
- Stevens, J., A. Schinckel, B. Richert, and M. Latour. 2009. The impact of dried distillers grains with solubles withdrawal programs on swine carcass fatty acid profiles and bacon quality. *J. Anim. Sci.* 87 (E. Suppl. 2):579.
- Thiel-Cooper, R. L., F. C. Parrish, Jr., J. C. Sparks, B. R. Wiegand, and R. C. Ewan. 2001. Conjugated linoleic acid changes swine performance and carcass composition. *J. Anim. Sci.* 79:1821-1828.
- Warnants, N., M. J. Van Oeckel, and C. V. Boucque. 1999. Incorporation of dietary polyunsaturated fatty acids into pork fatty tissues. *J. Anim. Sci.* 77:2478-2490.
- Weber, T. E., B. T. Richert, M. A. Belury, Y. Gu, K. Enright, and A. P. Schinckel. 2006. Evaluation of the effects of dietary fat, conjugated linoleic acid, and ractopamine on growth performance, pork quality, and fatty acid profiles in genetically lean gilts. *J. Anim. Sci.* 84:720-732.
- White, H. M., B. T. Richert, J. S. Radcliffe, A. P. Schinckel, J. R. Burgess, S. L. Koser, S. S. Donkin, and M. A. Latour. 2009. Feeding conjugated linoleic acid partially recovers carcass quality in pigs fed dried corn distillers grains with solubles. *J. Anim. Sci.* 87:157-166.
- Whitney, M. H., G. C. Shurson, L. J. Johnston, D. M. Wulf, and B. C. Shanks. 2006. Growth performance and carcass characteristics of grower-finisher pigs fed high-quality corn distillers dried grains with solubles originating from a modern Midwestern ethanol plant. *J. Anim. Sci.* 84:3356-3363.
- Widmer, M. R., L. M. McGinnis, D. M. Wulf, and H. H. Stein. 2008. Effects of feeding distillers dried grains with solubles, high-protein distillers dried grains, and corn germ to growing-finishing pigs on pig performance, carcass quality, and the palatability of pork. *J. Anim. Sci.* 86:1819-1831.
- Wiegand, B. R., R. B. Hinson, M. J. Ritter, S. N. Carr, and G. L. Allee. 2011. Fatty acid profiles and iodine value correlations between four carcass fat depots from pigs fed varied combinations of ractopamine (Paylean) and energy. *J. Anim. Sci.* doi:10.2527/jas.2010-3303.
- Wood, J. D., R. I. Richardson, G. R. Nute, A. V. Fisher, M. M. Campo, E. Kasapidou, P. R. Sheard, and M. Enser. 2003. Effects of fatty acids on meat quality: A review. *Meat Sci.* 66:21-32.
- Wood, J. D., J. Wiseman, and D. J. A. Cole. 1994. Control and manipulation of meat quality. In: D. J. A. Cole, J. Wiseman and M. A. Varley (ed.) *Principles of Pig Science*. Pp 433-456. Nottingham Univ. Press.
- Xu, G., S. K. Baidoo, L. J. Johnston, B. Bibus, J. E. Cannon, and G. C. Shurson. 2010a. The effects of feeding diets containing corn distillers dried grains with solubles, and withdrawal period of distillers dried grains with solubles, on growth performance and pork quality in grower-finisher pigs. *J. Anim. Sci.* 88:1388-1397.
- Xu, G., S. K. Baidoo, L. J. Johnston, B. Bibus, J. E. Cannon, and G. C. Shurson. 2010b. Effects of feeding diets containing increasing content of corn distillers dried grains with solubles to grower-finisher pigs on growth performance, carcass composition, and pork fat quality. *J. Anim. Sci.* 88:1398-1410.