

# VISIONE MODERNA DELLA NUTRIZIONE LIPIDICA DEL SUINO

## *A MODERN APPROACH OF THE LIPID SUPPLEMENTATION IN SWINE NUTRITION*

CARLO CORINO

*Università degli Studi di Milano, Dipartimento di Scienze e Tecnologie Veterinarie per la Sicurezza Alimentare, via Celoria 10, 20133 Milan, Italy*

**PAROLE CHIAVE:** nutrizione suino, acidi grassi a corta e media catena, omega-3, coniugati dell'acido linoleico

**KEYWORDS:** swine nutrition, short and medium chain fatty acid, omega-3, conjugated linoleic acid

**RIASSUNTO:** I lipidi, normalmente utilizzati in nutrizione suina, sono costituiti prevalentemente da grassi neutri, in particolare trigliceridi (esteri di acidi grassi e glicerolo). Gli acidi grassi si suddividono in: saturi senza doppi legami, monoinsaturi con presenza di un doppio legame o polinsaturi con più doppi legami sulla catena carboniosa. In nutrizione suina i grassi sono tradizionalmente somministrati attraverso la dieta come alimenti energetici permettendo anche l'apporto di vitamine liposolubili ed acidi grassi essenziali. Inoltre nei grassi l'efficacia di utilizzo dell'energia è molto elevata, con perdite metaboliche minime rispetto ad altri nutrienti. Recentemente l'interesse dei nutrizionisti si è spostato verso l'utilizzo di acidi grassi che presentano effetti specifici a livello fisiologico: gli acidi grassi a corta e media catena con attività antimicrobica ed effetti positivi sul gut health, i coniugati dell'acido linoleico e gli acidi grassi della serie  $\omega$ -3 con attività antinfiammatoria, immunomodulante e miglioramento della qualità nutrizionale dei prodotti (functional foods).

**ABSTRACT:** The lipids in feedstuffs commonly fed to pigs consist mainly of neutral fats, specifically triglycerides (ester of fatty acids and glycerol). Fatty acids (FA) may be saturated, containing no double bonds, monounsaturated, featuring one double bond, or polyunsaturated, with multiple double bonds. In swine nutrition fats are traditionally introduced in diets as high energy constituent. Moreover they also supply liposoluble vitamins and essential fatty acids. In addition, the efficiency of the use of metabolizable energy from lipids is very high, with a minimum heat increment compared to other nutrients. Recently, the interest of nutritionists pointed to specific fatty acids for some particular physiological effects: gut health and anti-microbial activity, anti-inflammatory and immunomodulatory activity and functional food design. The fatty acids that have these physiological effects are: short and medium chain FA acid, omega-3 and conjugated linoleic acid.

### **INTRODUZIONE**

In nutrizione suina i lipidi alimentari (oli e grassi) sono tradizionalmente inseriti nella dieta per l'alta concentrazione energetica e l'elevata appetibilità. I lipidi, oltre ad essere alimenti energetici, sono veicolo delle vitamine liposolubili, ed apportano acidi grassi essenziali (EFA). Inoltre nei grassi l'efficacia di utilizzo dell'energia è molto elevata (Figura 1), con

perdite metaboliche (heat increment) minime rispetto ad altri nutrienti e questo comporta una riduzione dello stress causato da temperatura elevata durante i mesi estivi (Noblet et al., 1994).

I lipidi utilizzati sono costituiti prevalentemente da grassi neutri, in particolare trigliceridi (esteri di acidi grassi e glicerolo). La parte variabile dei lipidi sono quindi gli acidi grassi che possono differire per: lunghezza della catena carboniosa, tipo di legame e posizione spaziale del doppio legame. Gli acidi grassi possono essere classificati in saturi (SFA), senza doppi legami, monoinsaturi (MUFA), con un solo doppio legame, e polinsaturi (PUFA) con presenza di due o più doppi legami (Agostini et al., 1992). L'importanza nutrizionale dei lipidi alimentari si esprime attraverso l'apporto quantitativo e qualitativo degli acidi grassi. Dal punto di vista qualitativo risulta determinante per le caratteristiche strutturali e funzionali dei lipidi la composizione acidica, cioè il contenuto in SFA, MUFA e PUFA. La presenza dei doppi legami, la lunghezza della catena carboniosa, l'isomeria di posizione e geometrica condizionano le proprietà nutrizionali, fisiche e biologiche dei lipidi.

I SFA hanno prevalentemente significato energetico mentre i PUFA hanno importanti ruoli strutturali e metabolici, per lo svolgimento dei quali è necessaria l'assunzione degli acidi grassi essenziali (EFA). Chimicamente gli EFA comprendono acidi grassi polinsaturi a 18 o più atomi di carbonio, aventi il primo doppio legame in posizione 3 o 6 a partire dal gruppo metilico della catena carboniosa ( $\omega$ -3 o  $\omega$ -6). I capostipiti della serie  $\omega$ -3 ed  $\omega$ -6 sono l'acido linoleico (C18:2  $\omega$ -6) e l'acido  $\alpha$  linolenico (C18:3  $\omega$ -3) (Rooke et al. 2003).

Recentemente è cresciuto l'interesse dei nutrizionisti verso l'utilizzo di acidi grassi con specifici effetti a livello fisiologico: gut health ed attività antimicrobica, attività antinfiammatoria ed immunomodulante e functional food design. Gli acidi grassi con queste caratteristiche sono:

acidi grassi a corta (SCFA) e media catena (MCFA)

acidi grassi della serie  $\omega$ -3

coniugati dell'acido linoleico (CLA)

Acidi grassi a corta (SCFA) e media catena (MCFA)

Gli acidi grassi che possiedono una catena carboniosa in cui si contano meno di sei atomi di carbonio; vengono definiti a corta catena (SCFA, acronimo di "Short Chain Fatty Acids"), e sono l'acido acetico, propionico, butirrico e valerico. Gli acidi grassi a media catena (medium chain fatty acids, MCFA) presentano da 6 a 12 atomi di carbonio e sono l'acido caproico, caprilico, caprico e laurico. Questi acidi grassi vengono prodotti principalmente durante la fermentazione dei polisaccaridi non amilacei operata da batteri a livello di intestino crasso (Pluske et al., 1999). I principali SCFA e MCFA sono riportati in tabella 1.

Gli SCFA e MCFA presentano numerose proprietà a livello di:

metabolismo cellulare e mantenimento del "gut health" (Defoirdt et al., 2009).

Normalmente gli enterociti a livello di colon ricavano il 60-70% del loro fabbisogno energetico dai SCFA, in particolare dal butirrato (Scheppach et al. 1992), che presenta anche azione di prevenzione della colite ulcerosa. Inoltre è stato osservato come il butirrato ed il propionato siano indispensabili nel mantenimento del normale metabolismo della mucosa intestinale (Kruh et al. 1994), regolando crescita e proliferazione cellulare (Treem et al., 1994). Infatti sono riportati effetti positivi del butirrato sulla profondità delle cripte a livello di cieco e sulla lunghezza dei villi a livello di ileo (Piva et al., 2002).

microflora intestinale (Boyen et al., 2008)

Gli acidi grassi a corta e media catena sono in grado di inibire la crescita di batteri patogeni (*Escherichia coli*, *Salmonella* spp) abbassando il pH a livello intestinale e creando quindi un ambiente favorevole per lattobacilli e bifidus (Blomberg et al., 1993). Diminuiscono inoltre il livello di colonizzazione ad opera della *Salmonella* Typhimurium a livello di cellule della mucosa intestinale (Figura 2).

L'azione antibatterica si esplica anche mediante la loro capacità di attraversare la parete batterica in forma indissociata e dissociarsi all'interno della cellula provocando un accumulo di ioni H<sup>+</sup> che porta alla morte cellulare (Ricke et al., 2003).

sistema immunitario (Weber et al., 2006a)

L'effetto antinfiammatorio del butirrato si esplica attraverso una minor produzione sia sistemica, che in loco di citochine proinfiammatorie.

Un numero sempre maggiore di pubblicazioni scientifiche supporta la tesi che la gamma degli effetti fisiologici dei SCFA e MCFA, che si esplicano prevalentemente a livello di mucosa intestinale, siano in grado di migliorare l'assorbimento di nutrienti e di conseguenza la salute e le performance degli animali. Questo diventa evidente soprattutto in momenti critici come lo svezzamento, durante il quale l'animale è sottoposto a forte stress dovuto principalmente al brusco passaggio da una dieta prevalentemente lattea a una dieta solida. In questa fase la difficoltà di adattamento si traduce in una ridotta ingestione di alimento accompagnata da un'atrofia dei villi ed iperplasia delle cripte con un'alterazione del ricambio dell'epitelio intestinale. Questo causa un minor assorbimento di nutrienti, scarso accrescimento ed un elevata insorgenza di patologie intestinali. In tali condizioni inoltre si osserva un'alterazione nell'equilibrio della microflora intestinale con diminuzione dei *Lattobacilli* ed aumento di batteri opportunisti quali *Escherichia coli* e *Salmonella* spp (Pluske et al.1999).

Numerose ricerche hanno evidenziato che la somministrazione di SCFA e di MCFA nell'alimentazione del suinetto in svezzamento permette un aumento dell'efficienza alimentare (Manzanilla et al., 2006) e dell'accrescimento ponderale (Kotunia et al., 2004).

Acidi grassi della serie omega 3

Esistono due importanti serie di acidi grassi essenziali (EFA) che contengono, rispettivamente, il loro primo doppio legame in posizione 3 e 6: quelli che derivano dall'acido linoleico (LA; C18:2 ω-6) e gli acidi grassi che derivano dall'acido α-linolenico (ALA; C18:3 ω-3) (Rooke et al. 2003). Gli acidi grassi a 18 atomi di carbonio (LA e ALA) si comportano da precursori essenziali degli altri acidi grassi a catena più lunga, rispettivamente per la serie ω-6 e ω-3 (Tran et al. 2003).

Gli acidi grassi della serie ω-3, con l'eccezione dell'ALA presente in elevati quantitativi nel seme di lino ed in percentuali inferiori nell'olio di colza e di soia, sono principalmente di origine marina e fra questi in particolare l'acido eicosopentaenoico (EPA, C20:5 ω-3), e l'acido docosoesaenoico (DHA, C22:6 ω-3), contenuti in alcuni tipi di alghe e nei pesci.

Gli acidi grassi della serie ω-6 sono invece di origine terrestre (contenuti in particolare negli oli vegetali).

Nelle diete per suini il rapporto tra PUFA delle serie ω-6 e ω-3 si attesta intorno a 12:1, poichè la razione è costituita prevalentemente da cereali e materie prime proteiche, ricche in ω-6 (Wilfart et al. 2004).

Le attività biologiche dei PUFA  $\omega$ -3 sono molteplici: effetti antiaterogenici, antitrombotici, anticancerogeni, antinfiammatori e miglioramento della funzionalità cardiaca e vascolare (Simopoulos 2009).

Nell'ambito dell'alimentazione suina, gli effetti dei PUFA  $\omega$ -3 di maggior interesse sono: modulazione della risposta infiammatoria (Calder 2007)

I PUFA delle serie  $\omega$ -6 e  $\omega$ -3 competono per lo stesso sistema enzimatico (elongasi e denaturasi) e di conseguenza un aumento degli  $\omega$ -3 comporta una riduzione degli acidi grassi a lunga catena della serie  $\omega$ -6, tra cui l'acido arachidonico (AA; C20:4  $\omega$ -6). L'AA è il substrato per la sintesi delle prostaglandine della serie 2 (PGE<sub>2</sub>), coinvolte nella modulazione dell'intensità e della durata della risposta infiammatoria e immunitaria (Calder, 2007). La PGE<sub>2</sub> ha diversi effetti pro-infiammatori, e regola la produzione di citochine da parte di monociti, macrofagi e linfociti (Bagga et al., 2003). Anche i PUFA  $\omega$ -3, e in particolare l'EPA, sono substrati per la biosintesi di prostaglandine, ma della serie 3, biologicamente meno attive di quelle della serie 2 (PGE<sub>2</sub>).

La quantità ed il tipo di eicosanoidi sintetizzati dipende quindi da diversi fattori; cruciale risulta la disponibilità dell'AA che può variare a seconda della presenza, tra i fosfolipidi di membrana, di altri acidi grassi insaturi potenzialmente in competizione (Dinarelli, 1999). Aumentando quindi la quota di  $\omega$ -3 nella dieta si ha una riduzione di AA nelle membrane cellulari ed una riduzione di PGE<sub>2</sub> (Boyce 2007).

La modulazione della risposta infiammatoria è legata anche alla capacità dei PUFA  $\omega$ -3 di attivare l'espressione genica di uno o più fattori di trascrizione quali il recettore per gli attivatori dei perossisomi gamma (PPAR $\gamma$ ). Il PPAR $\gamma$  è un membro dei recettori nucleari steroidei ed è in grado di regolare la trascrizione di svariati geni. Il trattamento con i ligandi del PPAR $\gamma$  inibisce la produzione di molecole pro-infiammatorie quali il tumor necrosis factor (TNF $\alpha$ ) e l'interleuchina 6 (IL-6). Zhan et al. (2009) riporta che, l'integrazione della dieta con il 10% di semi di lino in suini per 3 mesi, permette un aumento dell'espressione genica del PPAR $\gamma$  ed una diminuzione dell'espressione genica di TNF $\alpha$  e IL-6 a livello muscolare (Figura 3).

L'inclusione di PUFA  $\omega$ -3 nella dieta permette quindi di modulare il sistema immunitario, diminuendo i processi catabolici dovuti alla risposta infiammatoria, migliorando la salute ed il benessere animale.

miglioramento delle performance riproduttive (Mateo et al., 2009; Rooke et al., 2001b)

Numerosi studi hanno evidenziato un miglioramento delle performance riproduttive nelle scrofe alimentate con  $\omega$ -3. Mateo et al. (2009) riportano che i suinetti, allattati da scrofe alimentate con mangime integrato con  $\omega$ -3, presentano un peso più elevato allo svezzamento. Inoltre nello stesso studio si evidenzia un aumento delle immunoglobuline di classe G (IgG) nel colostro delle scrofe che hanno ricevuto la miscela di  $\omega$ -3. Rooke et al. (2001a) riportano una riduzione della percentuale di mortalità dei suinetti in pre-svezzamento, nati da scrofe alimentate con olio di salmone durante la gestazione.

Inoltre la somministrazione di  $\omega$ -3 ai verri ha un'influenza positiva sulla fertilità e sulla qualità del materiale seminale, che include concentrazione, percentuale di spermatozoi vitali e morfologia (% di spermatozoi con acrosoma normale) (Rooke et al., 2001b).

I PUFA della serie  $\omega$ -3 influenzano positivamente alcuni aspetti della fase riproduttiva nelle scrofe e nei verri. Ulteriori approfondimenti sono tuttavia necessari per determinare il corretto momento fisiologico, la durata della somministrazione, la fonte, ed il quantitativo

corretto di PUFA  $\omega$ -3.

miglioramento della qualità nutrizionale dei prodotti (functional foods).

Le diete occidentali sono povere in PUFA, in particolare in  $\omega$ -3, in quanto si ha un'insufficiente assunzione con la dieta e/o squilibri tra PUFA  $\omega$ -6 ed  $\omega$ -3 e ciò può essere una concausa dell'instaurarsi di numerose malattie tra cui quelle cardiovascolari, autoimmuni e processi infiammatori cronici (Simopoulos, 2009). Infatti il rapporto tra PUFA  $\omega$ -6 ed  $\omega$ -3 nelle diete dei paesi occidentali è sbilanciato a favore dei primi e varia da circa 10:1 fino al 15:1 ed è ben lontano dai valori raccomandati di almeno 5:1 (ISSFAL 2004). Considerata la limitata disponibilità di alimenti in grado di apportare  $\omega$ -3 nell'alimentazione convenzionale, e la necessità di avere diete con un più alto contenuto in  $\omega$ -3 ed un corretto rapporto  $\omega$ -6 ed  $\omega$ -3, l'attenzione si è focalizzata sull'importanza che la carne suina può avere come alimento funzionale in grado di offrire un beneficio in più per la salute rispetto a quelli tradizionali (functional foods) (Coates et al, 2009). Bisogna però tener presente che le caratteristiche tecnologiche e sensoriali della carne suina e dei prodotti trasformati sono influenzate dalla composizione in acidi grassi del tessuto adiposo. In particolare l'aumento del contenuto di PUFA  $\omega$ -3 può portare ad un peggioramento delle caratteristiche sensoriali soprattutto nei prodotti trasformati a lunga stagionatura, a causa della loro elevata suscettibilità all'ossidazione (Cannata et al., 2009).

La principale fonte alimentare per suini, contenente un elevato quantitativo di  $\omega$ -3 a lunga catena (EPA e DHA), è rappresentata da farine e oli di pesce, che, oltre ad avere un costo molto elevato, soprattutto se deodorizzati, aumentano la suscettibilità all'ossidazione e l'alterazione delle caratteristiche sensoriali della carne e prodotti derivati (Wood et al., 1999). Il lino è una valida alternativa per arricchire la carne suina di  $\omega$ -3, anche se l'ALA viene convertito soprattutto in EPA e solo limitatamente in DHA (Riley et al., 2000). Inoltre l'ALA contenuto nella colza e nel lino è meno suscettibile all'ossidazione, comparato all'EPA e al DHA, rendendolo più facilmente conservabile.

L'alimentazione prolungata con dieta grassata con olio di colza, che presenta un discreto contenuto in acido linolenico, porta ad un lieve aumento del contenuto di questo a livello di muscolo *Longissimus Dorsi* e di prodotto trasformato (Corino et al., 2002c; Pastorelli et al., 2003). Corino et al. (2008a) e Musella et al. (2009) riportano un aumento significativo del contenuto in ALA ed EPA ed una riduzione del rapporto tra  $\omega$ -6 ed  $\omega$ -3 sia nella carne fresca (*Longissimus Dorsi*) che nel prodotto trasformato (prosciutto crudo tipo Parma), ottenuti da suini alimentati con il con 5% di semi di lino (Figura 4). Considerato l'elevato consumo di carne suina, che si attesta su 43,4 kg pro capite/anno (Eurostat 2007), un aumento del contenuto di  $\omega$ -3 in carni e salumi permetterebbe un incremento significativo di  $\omega$ -3 nella dieta convenzionale. L'utilizzo di alimenti in grado di apportare  $\omega$ -3 nella dieta suina, permette un aumento del contenuto di questi nelle carni suine e nei prodotti trasformati, includendoli nella categoria dei functional food.

Coniugati dell'acido linoleico (CLA)

Con il termine di coniugati dell'acido linoleico (CLA) si indicano tutte le configurazioni dell'acido linoleico, i cui doppi legami non sono separati da alcun gruppo metilico e di conseguenza risultano coniugati. Nei prodotti naturali i doppi legami coniugati sono compresi tra 6,8-C18:2 e 12,14-C18:2, con configurazione *cis-cis*, *trans-trans*, *cis-trans* e *trans-cis* (Sehat et al., 1998). L'origine naturale dei CLA è data da una isomerizzazione

dell'acido linoleico, introdotto con la dieta, da parte di un enzima prodotto dal batterio *Butivibrio fibrosolvens* durante il processo di bioidrogenazione a livello ruminale con formazione prevalente dell'isomero *cis-9, trans-11* CLA (Kepler et al., 1966). Le fonti alimentari di isomeri CLA, in prevalenza *cis-9, trans-11* CLA, sono quindi rappresentati da carni di ruminanti, latte, formaggi e prodotti derivati (Chin et al., 1992). La maggior parte dei prodotti contenenti CLA ed utilizzati come integratori alimentari derivano da idrogenazione industriale e contengono dal 60 al 90% di isomeri CLA (acidi grassi liberi o trigliceridi) in prevalenza *cis-9, trans-11* CLA ed il *trans-10, cis-12* CLA (Larsen et al., 2003).

Negli ultimi anni l'interesse nei confronti di questi composti è notevolmente cresciuto, motivato dalle innumerevoli proprietà che i due isomeri CLA possiedono che vengono sintetizzate in Tabella 2 (Belury, 2002; Pariza, 2004).

In alimentazione suina, gli effetti dei CLA di maggior interesse sono: effetti sulle performance di crescita (Corino et al., 2006)

Gli effetti dei CLA sulle performance di crescita degli suini sono controverse (Dugan et al., 2004; Corino et al., 2006). Thiel-Cooper et al. (1998) hanno riportato un incremento dell'accrescimento medio giornaliero con livelli crescenti di CLA, da 0.12% a 1% nella dieta. Ostrowska et al. (1999) hanno evidenziato un miglioramento dell'indice di conversione alimentare con la somministrazione di livelli crescenti di CLA in suini in accrescimento. In contrasto con gli studi precedenti, Dugan et al. (1997) non riscontrano effetti positivi della somministrazione del 2% di CLA nella dieta di suini da 61.5 kg a 106 kg di peso vivo sulle performance di crescita. Un'analisi degli studi condotti sui suini (2001-2009), con assunzione di CLA compresa tra 3,7 e 34 g/giorno, evidenzia come vi sia una diminuzione dell'indice di conversione alimentare, compresa tra lo 0,7% e il 14% (unpublished data). influenza su metabolismo lipidico (Domeneghini et al., 2006)

I CLA presentano un'azione anti-adipogenica che si esplica attraverso la riduzione della lipogenesi e l'aumento della lipolisi. I CLA diminuiscono l'attività della dell'Acetil Co-A Carbossilasi, enzima chiave nella sintesi degli acidi grassi, come osservato nel tessuto adiposo di suini alimentati con lo 0,5% di CLA dai 97 kg ai 172 kg di peso vivo (Corino et al., 2003). La diminuzione dell'adipogenesi è dovuta anche ad una diminuzione dell'attività della lipoproteinlipasi (LPL), la cui funzione è la captazione degli acidi grassi dalle lipoproteine plasmatiche e il loro utilizzo da parte degli adipociti. I CLA inoltre aumentano l'attività della carnitina-palmitoiltransferasi (CPT), enzima promotore del metabolismo ossidativo degli acidi grassi, sia nel muscolo che nei lipidi di deposito.

I CLA hanno azione diretta sulla proliferazione dei preadipociti e sull'apoptosi degli adipociti. Nel tessuto adiposo di suini pesanti, alimentati con lo 0,75% di CLA, si è osservato una diminuzione della proliferazione dei preadipociti ed un aumento dell'apoptosi degli adipociti (Corino et al., 2005; Di Giancamillo et al., 2007)

A livello di composizione acidica del tessuto adiposo i CLA diminuiscono l'azione dell'enzima stearoil-CoA desaturasi (SCD), che catalizza la conversione degli SFA in MUFA, convertendo l'acido palmitico e stearico in acido palmitoleico ed oleico. A seguito della somministrazione con CLA si osserva quindi un aumento della saturazione del tessuto adiposo, come osservato nel grasso di copertura di prosciutti provenienti da suini alimentati con CLA (Corino et al., 2003). Inoltre in una nostra recentissima pubblicazione su *Journal of Nutrition* si evidenzia come l'azione antiadipogenica dei CLA sia legata anche ad una diminuzione della leptina a livello di tessuto adiposo. Inoltre si evidenzia anche

un coinvolgimento del sistema noradrenergico, da cui si evince che i CLA aumentano un rilascio di catecolamine (Di Giancamillo et al., 2009).

L'azione dei CLA sul metabolismo lipidico, comprende molteplici meccanismi a livello cellulare non ancora delucidati, che sono oggetto di nuovi studi ed approfondimenti.

modulazione del sistema immunitario (Corino et al., 2009)

A livello di sistema immunitario i CLA presentano proprietà immuno-modulatorie e antinfiammatorie. L'azione immunomodulatoria dei CLA si esplica attraverso un aumento delle IgG, IgA ed IgM, ed una diminuzione delle IgE e del TNF $\alpha$ , citochina coinvolta nella infiammazione sistemica. Inoltre i CLA agiscono anche potenziando l'immunità non specifica, attraverso l'aumento di lisozima sierico. L'aumento della concentrazione sierica di lisozima ed IgG è stato evidenziato in suinetti in post svezzamento alimentati con lo 0,5% di CLA (Corino et al., 2002a). L'azione immunomodulatoria dei CLA viene confermata in scrofe alimentate con lo 0,5% di CLA da 7 giorni prima del parto e nei suinetti sia durante la lattazione, sia nel post svezzamento con dieta integrata con CLA (Bontempo et al., 2004; Corino et al., 2009).

L'azione antinfiammatoria è legata alla capacità dei CLA di essere allungati e desaturati a 20:4 isomeri che possono competere con l'acido arachidonico per l'enzima ciclossigenasi con bassa produzione di PGE<sub>2</sub>, in modo analogo all'azione dei PUFA  $\omega$ -3 (Turek et al., 1998). In un recente studio in suinetti in post svezzamento si è osservato che la somministrazione di CLA ha portato ad un aumento della popolazione linfocitaria dei CD8+, riducendo la produzione delle PGE<sub>2</sub> (Lai et al., 2005).

L'inclusione di CLA nella dieta permette, attraverso azione immunomodulatoria e antinfiammatoria di ridurre i processi catabolici dovuti alla risposta infiammatoria, migliorando le condizioni sanitarie e il benessere animale.

miglioramento della qualità tecnologica e nutrizionale dei prodotti (functional foods)

Tra le numerose attività biologiche, i CLA influenzano la composizione in acidi grassi del tessuto adiposo, portando ad un aumento dei SFA a scapito dei MUFA. Questa azione, più marcata a livello di tessuto adiposo, risulta positiva in quanto aumenta la stabilità del tessuto, e migliora l'attitudine alla trasformazione.

Le normative che disciplinano il circuito del prosciutto crudo di Parma valutano, come indicatore della qualità del grasso di copertura della coscia, il numero di iodio. Il valore deve essere inferiore a 70 per evitare che vi siano problemi durante i processi di trasformazione (soft fat).

In suini alimentati con lo 0,25% e lo 0,5% CLA, dai 97 kg ai 170 kg di peso vivo, si è osservata una riduzione del numero di iodio del 9,1% e 6,8% rispetto al controllo (Corino et al., 2003). Lo stesso risultato (- 6,7%) è stato osservato in una prova successiva in cui i suini sono stati alimentati con lo 0,75% di CLA per 3 mesi (Corino et al., 2005) Risultati analoghi sono stati osservati in suini macellati a pesi inferiori (Figura 5).

L'attività dei CLA sulla composizione acidica del tessuto adiposo migliora anche la stabilità verso i fenomeni ossidativi e la shelf life del prodotto (Corino et al 2002b; Corino et al., 2003). Attraverso l'integrazione con CLA si è potuto infatti osservare una maggior stabilità ossidativa del muscolo *Longissimus Dorsi* di suini pesanti alimentati con lo 0,5% di CLA dai 97 ai 170 kg di peso vivo.

La somministrazione di CLA permette inoltre un aumento del contenuto dei due isomeri a

livello di tessuto muscolare ed adiposo, migliorando la qualità nutrizionale dei prodotti. Pastorelli et al., (2005) riporta un aumento significativo di *cis-9, trans-11* CLA (+75%) e di *trans-10, cis-12* CLA (+85%) nel muscolo *Longissum Dorsi* di suini alimentati con lo 0,25% e lo 0,5% di CLA. Questo si evidenzia anche nel prosciutto crudo di Parma di suini alimentati con lo 0,25% di CLA (Lo Fiego et al., 2005). Tale aumento risulta più marcato a livello di grasso (0,95 vs 5,22 mg/g lipidi *cis-9, trans-11* CLA) rispetto al muscolo *Biceps Femoris* (0,75 vs 1,74 mg/g lipidi *cis-9, trans-11* CLA) (Figura 6). Un aumento dell'assunzione di CLA attraverso le carni suine ed i salumi potrebbe comportare effetti positivi sulla salute del consumatore con un minor rischio di sviluppare alcune patologie quali tumori e malattie cardiovascolari.

## CONCLUSIONI

Le specifiche attività biologiche degli acidi grassi menzionati possono risultare interessanti per operare sulle problematiche legate alle differenti fasi produttive dell'allevamento suino.

L'attività antimicrobica e di "gut health" degli SCFA e MCFA risulta essere interessante nella fase di svezzamento dei suinetti, durante il quale l'animale è sottoposto a forte stress dovuto principalmente al brusco passaggio da una dieta latte a una dieta solida, con alterazione nell'equilibrio della microflora intestinale.

L'azione che gli  $\omega$ -3 e i CLA compiono a livello di sistema immunitario permette un miglioramento delle condizioni sanitarie degli animali, favorevole sia nei riproduttori sia nei suinetti in svezzamento. L'integrazione della dieta con CLA potenzia il sistema immunitario nelle scrofe in lattazione e nei suinetti sotto scrofa e in post svezzamento, modulando la produzione di immunoglobuline e lisozima. La somministrazione di  $\omega$ -3 ha un'influenza positiva sulla fertilità e sulla qualità del materiale seminale nei verri e porta ad un miglioramento delle performance riproduttive nelle scrofe. Le migliori proprietà nutrizionali delle carni e dei prodotti trasformati in suini alimentati con  $\omega$ 3 e CLA rende interessante l'utilizzo di questi acidi grassi nel suino nelle fase di ingrasso. In questa ottica la carne suina potrebbe porsi come alimento funzionale in grado di offrire un beneficio in più per la salute rispetto a quelli tradizionali (functional foods).

Esistono però alcune problematiche ed accorgimenti legati all'integrazione di tali i acidi grassi nelle diete per suini:

- L'appetibilità dei SCFA e MCFA non risulta particolarmente elevata per problemi legati alla presenza di odori, con necessità di opportuni trattamenti tecnologici (es. protezione).

- L'inclusione nelle diete con  $\omega$ -3 ne rende necessaria la protezione dai fenomeni ossidativi, con un maggior impiego di antiossidanti nella dieta. Inoltre si può avere un peggioramento delle caratteristiche sensoriali soprattutto nei prodotti trasformati a lunga stagionatura, a causa della elevata suscettibilità all'ossidazione degli  $\omega$ -3.

- L'impiego delle miscele commerciali di CLA, che contengono i due isomeri *cis-9, trans-11* CLA ed il *trans-10, cis-12* CLA in un rapporto di circa 1:1, aumenta la concentrazione anche dell'isomero *trans-10, cis-12* CLA nelle carni e nei trasformati. Si pone quindi la problematica legata alle quantità molto limitate di tale isomero in natura (carni e latte di ruminanti).



Table 1. Main short chain (SCFA) and medium chain (MCFA) fatty acid  
 Tabella 1. Principali acidi grassi a corta (SCFA) e media (MCFA) catena

Acidi grassi a corta catena <i>Short chain fatty acid</i>		Acidi grassi a media catena <i>Medium chain fatty acid</i>	
Nome <i>Name</i>	Atomi di C <i>C Atoms</i>	Nome <i>Name</i>	Atomi di C <i>C Atoms</i>
Acido acetico <i>Acetic Acid</i>	2	Acido caproico <i>Caproic Acid</i>	6
Acido propionico <i>Propionic acid</i>	3	Acido caprilico <i>Caprylic Acid</i>	8
Acido butirrico <i>Butyric Acid</i>	4	Acido caprico <i>Capric Acid</i>	10
Acido valerico <i>Valeric Acid</i>	5	Acido laurico <i>Lauric acid</i>	12

Table 2. Main biological activities of conjugated linoleic acid (CLA)  
 Tabella 2. Principali proprietà biologiche dei CLA

Principali proprietà biologiche dei CLA <i>CLA main biological activities</i>	
Effetti sulle performance di crescita <i>Effects on growth performance</i>	(Bee 2001 - Corino et al., 2003)
Effetto anabolizzante <i>Anabolic effect</i>	(Pariza et al., 1996 - Houseknecht et al., 1998)
Effetti sul tessuto osseo <i>Effects on bone tissue</i>	(Seifert et Watkins 1997)
Riduzione aterosclerosi <i>Reduction of atherosclerosis</i>	(Corino et al., 2002b - Park et al., 1997)
Influenza sul metabolismo lipidico <i>Influence on lipid metabolism</i>	(Mersmann 2001 - Corino et al., 2006)
Modulazione del sistema immunitario <i>Immunomodulation activity</i>	(Cook et al., 1993 - Corino et al., 2009)
Attività anticancerogena <i>Anticancerogenic activity</i>	(Ha et al., 1990 - Sugano et al., 1997)

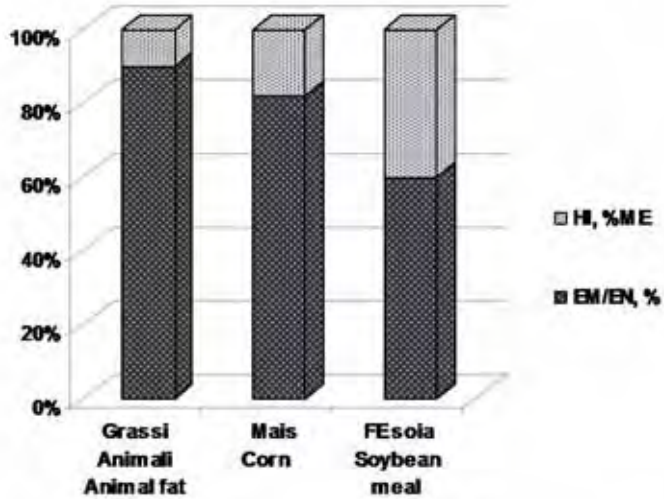


Figura 1. Efficacia di utilizzo dell'energia e perdite metaboliche (heat increment, HI) in diversi alimenti (Noblet et al., 1994).

Figure 1. Efficiency of the use of metabolizable energy (ME) and heat increment (HI) of animal fat, corn and soybean meal. (Noblet et al., 1994).

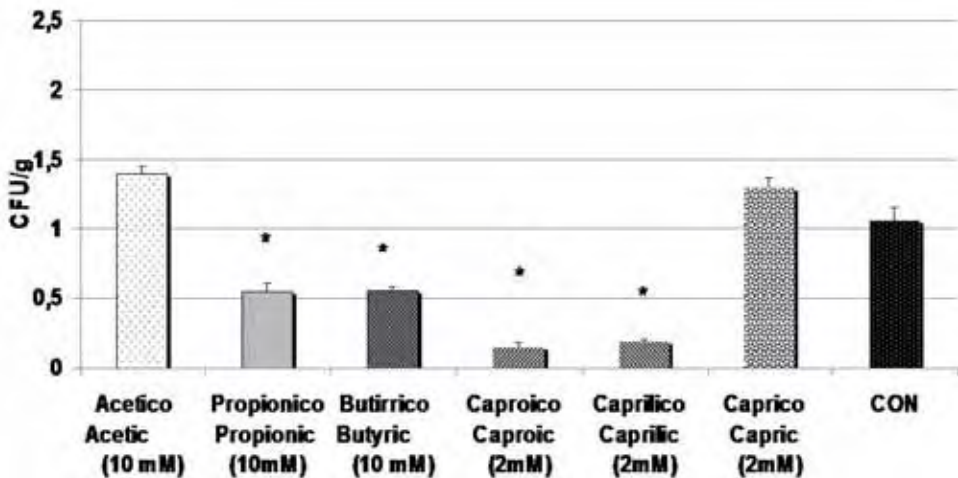


Figura 2. Capacità degli acidi grassi a corta e media catena di inibire la colonizzazione *Salmonella* Typhimurium a livello di cellule della muscosa intestinale (Boyen et al., 2008).

Figure 2. Short chain and medium chain fatty acid ability in inhibiting *Salmonella* Typhimurium colonization of intestinal mucosal cells (Boyen et al., 2008).

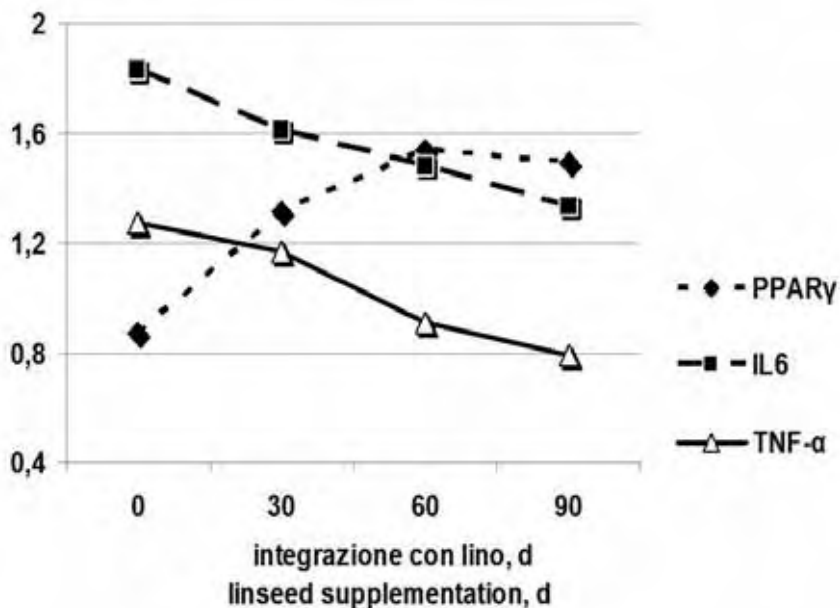


Figura 3. Effetto dell'integrazione della dieta con lino sull'espressione genica del PPAR $\gamma$  e sulla di TNF $\alpha$  e IL-6 a livello muscolare  
 Figure 3. Effect of pig dietary supplementation with linseed on muscular PPAR $\gamma$ , TNF $\alpha$  and IL-6 gene expression (Zhan et al., 2009).

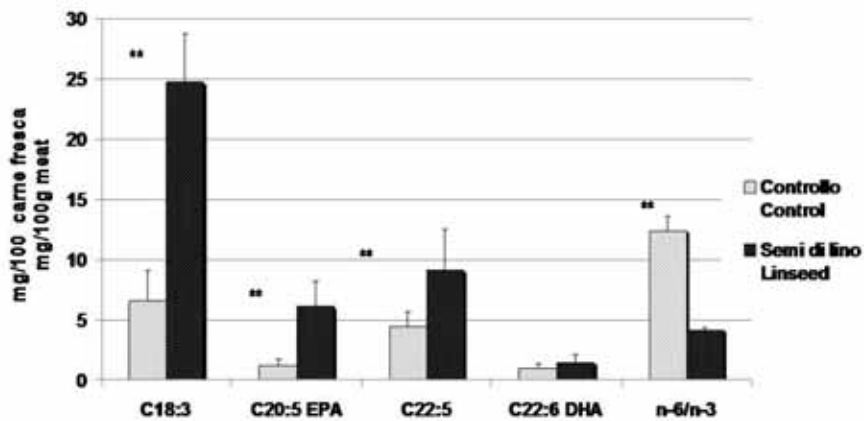


Figura 4. Quantità di PUFA  $\omega$ -3 nel muscolo LD di suini alimentati con dieta controllo o integrata con il 5% di semi di lino (Corino et al., 2008).  
 Figure 4. Loin  $\omega$ -3 PUFA content in heavy pigs fed control or 5% linseed diet (Corino et al., 2008).

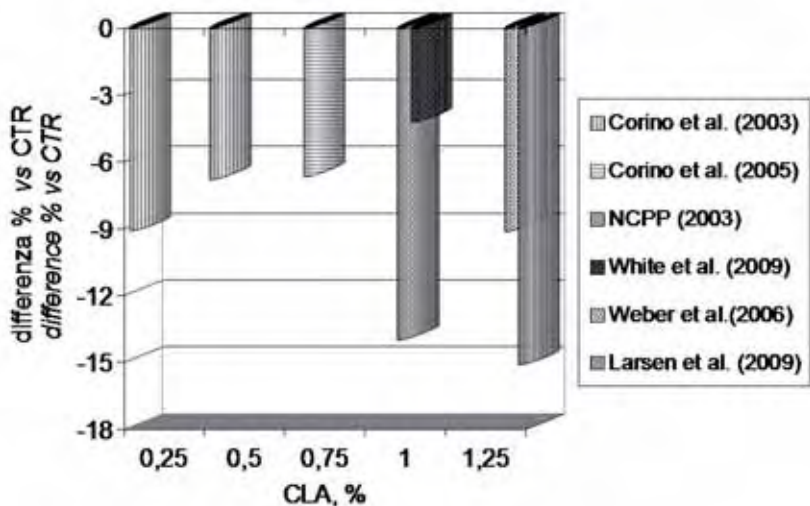


Figura 5. Riduzione del numero di iodio del tessuto adiposo sottocutaneo a seguito di somministrazione di CLA.

Figure 5. Reduction of the adipose tissue Iodine number in pigs fed CLA.

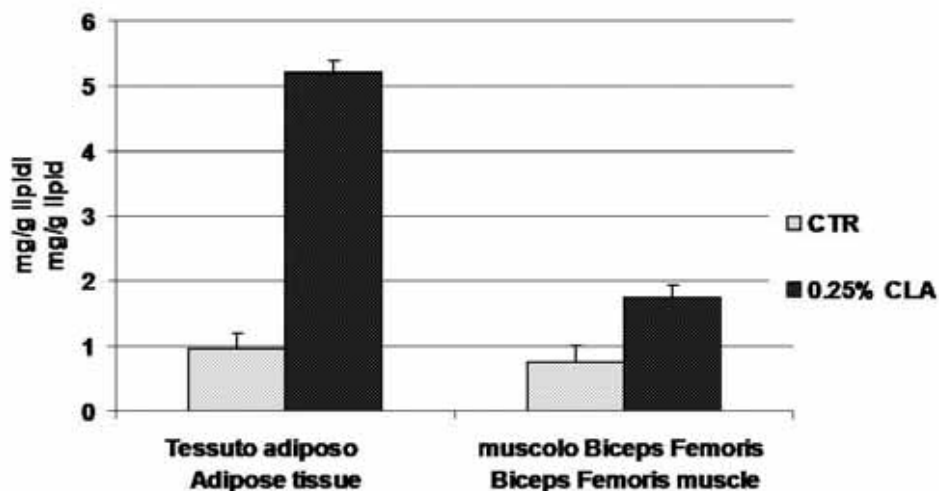


Figura 6. Contenuto in *cis-9, trans-11* CLA nel tessuto adiposo e muscolare del prosciutto crudo di Parma di suini alimentati con dieta controllo o integrata con lo 0,25% di CLA (Lo Fiego et al., 2005).

Figure 6. Effect of 0.25% dietary CLA supplementation on *Cis-9, trans-11* CLA content of subcutaneous adipose tissue and BF muscle of seasoned Parma ham (Lo Fiego et al., 2005).

## Bibliografia

Agostini, C., Bruzzese, M.G. (1992). "Gli acidi grassi: classificazione biochimica e funzionale." *Ped. Med. Chir.* 14, 473-479.

Bagga D., Wang L., Farias-Eisner R., Glaspy J.A., Reddy S. T. (2003) "Differential effects of prostaglandin derived from omega-6 and omega-3 polyunsaturated fatty acids on COX-2 expression and IL-6 secretion." *Proc. Natl. Acad. Sci. U S A* 100, 1751–1756.

Bee, G. (2001) "Dietary conjugated linoleic acid affect tissue lipid composition but not de novo lipogenesis in finishing pigs." *Anim. Res.* 50, 383–399.

Belury, M.A. (2002) "Dietary conjugated linoleic acid in health: Physiological effects and mechanisms of action." *Ann Rev.* 22, 505–524.

Boyce JA. (2007) "Mast cells and eicosanoid mediators: a system of reciprocal paracrine and autocrine regulation." *Immunol Rev.* 217, 168-185.

Boyen F., Haesebrouck F., Vanparrys A., Volf J., Mahu M., Van Immerseel F., Rychlik I., Dewulf J., Ducatelle R., Pasmans F. (2008) "Coated fatty acids alter virulence properties of Salmonella Typhimurium and decrease intestinal colonization of pigs." *Vet. Microbiol.* 132, 319-327.

Blomberg L., Henriksson A., Conway P.L. (1993) "Inhibition of adhesion of Escherichia coli K88 to piglet ileal mucus by Lactobacillus spp." *Appl. Environ. Microbiol.* 59:34-39.

Bontempo V., Sciannimanico D., Pastorelli G., Rossi R., Rosi F., Corino C. (2004) "Dietary conjugated linoleic acid positively affects immunologic variables in lactating sow and piglets." *J. Nutr.* 134, 817-824.

Calder, P.C. (2007) "Immunomodulation by omega-3 fatty acids" *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids* 77, 327-335.

Cannata S., Meteau K., Mourot J., Corino, C. (2009) "Parma ham enriched in omega-3 fatty acids as functional food: a sensory evaluation by Italian and French panels" *IV Gout-Nutrition-Santè Congress*, 18<sup>th</sup>-20<sup>th</sup> March Dijon.

Chin S.F., Liu W., Storkson J.M., Ha Y. L., Pariza M.W. (1992) "Dietary sources of conjugated dienoic isomers of linoleic acid, a newly recognized class of anticarcinogens." *J. Food Composition and Analysis* 5, 185-197.

Coates A.M., Sioutis S., Buckley J. D., Howe P.R.C. (2009) "Regular consumption of n-3 fatty acid-enriched pork modifies cardiovascular risk factors." *Brit. J. Nutr.* 101, 592–597.

Cook M.E., Miller C.C., Park Y., Pariza M. (1993) "Immune modulation by altered nutrient metabolism: nutritional control of immune-induced growth depression." *Poult. Sci.* 72, 1301–1305.

Corino C., Bontempo V., Sciannimanico D. (2002a) "Effects of dietary conjugated linoleic acid on some aspecific immune parameters and acute phase protein in weaned piglets". *Can. J. Anim. Sci.*, 82: 115-117.

Corino C., Mourot J., Magni S., Pastorelli G., Rosi F. (2002b) "Influence of dietary conjugated linoleic acid on growth, meat quality, lipogenesis, plasma leptin and physiological variables of lipid metabolism in rabbits." *J. Anim. Sci.* 80, 1020-1028.

Corino C., Magni S., Pagliarini E., Rossi R., Pastorelli G., Chiesa L. M. (2002c) "Effects of dietary fats on meat quality and sensory characteristics of heavy pig loins." *Meat Sci.* 60: 1-8.

Corino C., Magni S., Pastorelli G., Rossi R., Mourot J. (2003) "Effect of conjugated linoleic acid on meat quality, lipid metabolism, and sensory characteristics of dry-cured hams from heavy pigs" *J. Anim. Sci.* 81, 2219-2229.

Corino C., Di Giancamillo A., Rossi R., Domeneghini C. (2005) "Dietary conjugated linoleic acid affects morpho- functional and chemical aspects of subcutaneous adipose tissue in heavy pigs." *J. Nutr.* 135, 1444-1450.

Corino C., Pastorelli G., Douard V., Rossi R., Musella M., Mourot J. (2006) "L'acide linoléique conjugué en nutrition porcine." *Inra Prod. Anim.* 19, 39-46.

Corino C., Musella M., Pastorelli G., Rossi R., Paolone K., Costanza L., Manchisi A., Maiorano G. (2008b). "Influences of dietary conjugated linoleic acid (CLA) and total lysine content on growth, carcass characteristics and meat quality of heavy pigs". *Meat Sci.* 79: 307-316.

Corino C., Musella M., Mourot J. (2008a) "Influence of extruded linseed on growth, carcass composition and meat quality of slaughtered pigs at one hundred ten and one hundred sixty kilograms of liveweight". *J. Anim. Sci.* 2008, 86:1850-1860.

Corino C., Pastorelli G., Rosi F., Bontempo V., Rossi R. (2009) "Effect of dietary conjugated linoleic acid supplementation in sows on performance and immunoglobulin concentration in piglets." *J. Anim. Sci.*, 87, 2299-2305.

Defoirdt T., Boon N., Sorgeloos P., Verstraete W., Bossier P. (2009) "Short-chain fatty acids and poly- $\beta$ -hydroxyalkanoates: (New) Biocontrol agents for a sustainable animal production." *Biotechnol. Adv.* doi:10.1016/j.biotechadv.2009.04.026

Di Giancamillo A., Vitari F., Cannata S., Domeneghini C., Corino C. (2007) "Conjugated linoleic acids (CLAs) influence leptin expression in the subcutaneous adipose tissue of the heavy pig." in: *Annals of Nutrition and Metabolism* "10<sup>th</sup> European Nutrition Conference on behalf of Federation of the European Nutrition Societies (FENS) and the Union Française pour la Nutrition et l'Alimentation (UFNA) Paris, 10-13 July", 80.

Di Giancamillo A., Rossi R., Vitari F., Pastorelli G., Corino C., Domeneghini C. (2009) "Dietary conjugated linoleic acids decrease leptin in porcine adipose tissue" *J. Nutr.* doi:10.3945/jn.109.110627

Dinareello, C.A. (1999) "Citokines as endogenous pyrogens." *J. Infect. Dis.* 179, 294–304.

Domeneghini C., Di Giancamillo A., Corino C. (2006) "Conjugated linoleic acids (CLAs) and white adipose tissue: how both in vitro and in vivo studies tell the story of a relationship" *Histol. Histopathol.* 21, 663-673.

Dugan M.E.R., Aalhus J.L., Schaefer A.L. Kramer J.K.G. (1997) "The effect of conjugated linoleic acid on fat to lean repartitioning and feed conversion in pigs." *Can. J. Anim. Sci.* 77, 723-725.

Dugan M.E.R., Aalhus J. L., Kramer J.K.G. (2004) "Conjugated linoleic acid pork research." *Am. J. Clin. Nutr.* 79, 1212S-1216S.

Ha Y.L., Storkson J., Pariza M.W. (1990) "Inhibition of benzo(a)pyrene-induced mouse forestomach neoplasia by conjugated dienoic derivatives of linoleic acid" *Cancer Res.* 50, 1097–1101.

Houseknecht K.L., Vanden Heuvel J.P., Moya-Camarena S.Y., Portocarrero C.P., Peck L.W., Nickel K.P., Belury M.A. (1998) "Dietary conjugated linoleic acid normalizes impaired glucose tolerance in the Zucker diabetic fatty *fa/fa* rat." *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 244, 678–682.

ISSFAL. International Society for the Study of Fatty Acids and Lipids (2004). Global Recommendations. <http://www.issfal.org.uk/recommendations-of-others.html>

Kepler, C.R., Hirons K.P., McNeill J.J., Tove SB. (1966) "Intermediates and products of the biohydrogenation of linoleic acid by *Butyrivibrio fibrisolvens*." *J Chem.* 241:1350–1354.

Kotunia, A., Wolinski J., Laubitz D., Jurkowska M., Rome V., Guilloteau P., Zabielski R. (2004) "Effect of sodium butyrate on the small intestine development in neonatal piglets fed by artificial sow." *J. Physiol. Pharmacol.* 55, 59–68.

Kruh, J., Defer N., TichonkyL. (1994) "Effects of butyrate on cell proliferation and gene expression." In: Cummings J.H., Rombeau J.L., Sakata, T. "Physiological and Clinical Aspects of Short-Chain Fatty Acids" Cambridge University Press, Cambridge, U.K. 275-288.

Lai C., Yin J., Li D., Zhao L., Chen X. (2005) "Effects of dietary conjugated linoleic acid supplementation on performance and immune function of weaned pigs." *Arch. Anim. Nutr.* 59, 41–51.

Larsen TM, Toubro S, Astrup A (2003) "Efficacy and safety of dietary supplements containing CLA for the treatment of obesity: evidence from animal and human studies." *J. Lipid Res.* 44:2234–2241.

Larsen S.T., Wiegand B.R., Parrish F.C. Jr., Swan J.E., Sparks J.C. (2009) "Dietary conjugated linoleic acid changes belly and bacon quality from pigs fed varied lipid sources" *J. Anim. Sci.* 87, 285-295.

Lo Fiego D. P., Macchioni P., Santoro P., Pastorelli G., Corino C. (2005). "Effect of dietary Conjugated linoleic acid (CLA) supplementation on CLA isomers content and fatty acid composition of dry-cured Parma ham." *Meat Sci.* 70, 285-291.

Manzanilla E.G., Nofrarias M., Anguita M., Castillo M., Perez J.F., Matin-Orue S.M, Kamel C., Gasa J. (2006) "Effects of butyrate, avilamycin, and a plant extract combination on the intestinal equilibrium of early-weaned pigs." *J. Anim. Sci.* 84, 2743–2751.

Mateo R.D., Carroll J.A., Hyun Y., Smith S., Kim S.W. (2009) "Effect of dietary supplementation of omega-3 fatty acids and high levels of dietary protein on performance of sows." *J. Anim. Sci.* 87, 948-959

Mersmann, H.J. (2001) "Mechanisms for conjugated linoleic acid-mediated reduction in fat deposition." *J. Anim. Sci.* 80, E126-E134.

Musella M., Cannata S., Rossi R., Mourot J., Baldini P., Corino C. (2009) "Omega-3 pufa from extruded linseed influences fatty acid composition and sensory characteristics of dry-cured ham from heavy pigs." *J. Anim. Sci.*, doi: jas.2008-1355v1-jas.2008-1355.

National Committee for pig production (2003) Annual Report, 21.

Noblet J., Fortune H., Shi X.S., Dubois S. (1994) "Prediction of net energy value of feeds for growing pigs" *J. Anim. Sci.* 72, 344-354.

Ostrowska E., Morley M., Cross R.F., Bauman D.E., Dunshea F.R. (1999). "Dietary conjugated linoleic acids increase lean tissue and decrease fat deposition in growing pigs." *J. Nutr.* 129, 2037-2042.

Pariza, M.W, Park, Y., Cook, M., Albright, K., Liu, W. (1996) "Conjugated linoleic acid (CLA) reduces body fat." *FASEB J.* 10, A3227.

Pariza, M.W. (2004) "Perspective on the safety and effectiveness of conjugated linoleic acid." *Am. J. Clin. Nutr.* 79, 1132S-1136S.

Park Y., Albright K.J., Liu W., Storkson J.M., Cook M.E., Pariza M.W. (1997) "Effect of conjugated linoleic acid on body composition in mice." *Lipids* 32, 853–858.

Pastorelli G., Magni S., Rossi R., Pagliarini E., Baldini P., Dirinck P., Van Opstaele F., Corino C. (2003) "Influence of dietary fat, on fatty acid composition and sensory properties of dry-cured Parma ham." *Meat Sci.* 65: 571-580.

Pastorelli G., Moretti V.M., Macchioni P., Lo Fiego D.P., Santoro P., Panseri S., Rossi R., Corino C. (2005) "Determination of flavour volatile compounds and fatty acid composition of loin muscle of pigs fed conjugated linoleic acid." *J. Sci. Food Agric.* 85, 2227-2234.



- Piva A., Grandini A., Fiorentini L., Morlacchini M., Galvano F., Luchansky J.B. (2002) "Tributyrin and lactitol synergistically enhanced the trophic status of the intestinal mucosa and reduced histamine levels in the gut of nursery pigs." *J. Anim. Sci.* 80, 670-680.
- Pluske J.R., Pethick D.W., Durmic Z., Hampson D.J., Mullan B.P. (1999) "Non-starch polysaccharides in pig diets and their influence on intestinal microflora, digestive physiology and enteric disease" in: Garnsworthy P.C., Wiseman J. "Recent Advances in Animal Nutrition" Nottingham University Press, Nottingham, 189-226.
- Ricke C. (2003) "Perspectives on the use of organic acids and short chain fatty acids as antimicrobials" *Poult. Sci.* 82, 632-639.
- Riley P.A., Enser M., Nute G.R., Wood J.D. (2000) "Effects of dietary linseed on nutritional value and other quality aspects of pig muscle and adipose tissue." *Anim. Sci.* 71, 483-500.
- Rooke, J.A., Sinclair A.G., Edwards S.A., Cordoba R., Pkiyach S., Penny P.C., Penny P., Finch A. M., Horgan, G.W. (2001a) "The effect of feeding salmon oil throughout pregnancy on pre-weaning mortality of piglet." *Anim. Sci.* 73, 489-500.
- Rooke J.A., Shao C.C., Speake B.K. (2001b) " Effects of feeding tuna oil on the lipid composition of pig spermatozoa and *in vitro* characteristics of semen." *Reproduction* 121, 315-322.
- Rooke J.A., Ferguson E.M., Sinclair A.G., Speake, B.K. (2003). "Fatty acids and reproduction in the pig." In: Garnsworthy P.C., Wiseman J. "Recent advances in animal nutrition" Nottingham University Press, 47-65.
- Scheppach W., Sommer H., Kirchner T., Paganelli G.M., Bartram P., Christi S., Richter F., Dusel G., Kasper H. (1992) "Effect of butyrate enemas on the colonic mucosa in distal ulcerative colitis." *Gastroenterol.* 103, 51-56.
- Seifert M.F., Watkins B.A. (1997) "Role of dietary lipid and antioxidants in bone metabolism." *Nutr Res* 17, 1209-1228.
- Sehat, N., Yurawecz, M.P., Roach, J.A.G., Mossoba, M.M. Kramer, J.K.G., Ku, Y. (1998) "Silver ion high-performance liquid chromatographic separation and identification of conjugated linoleic acid isomers" *Lipids* 33, 217-221.
- Simopoulos A.P. (2009) "Omega-6/omega-3 essential fatty acids: biological effects." *World Rev. Nutr. Diet.* 99, 1-16.
- Sugano M., Tsujita A., Yamasaki M., Yamada K., Ikeda I., Kritchevsky D. (1997) "Lymphatic recovery, tissue distribution, and metabolic effects of conjugated linoleic acid in rats" *J. Nutr. Biochem.* 8, 38-43.
- Thiel-Cooper R.L., Sparks J.C., Wiegand W.R., Parrish Jr F.C., Ewan R.C. (1998). "Conjugated linoleic acid improves performances and body composition in swine." *J Anim Sci.* 76 (suppl.2): 61.

Tran T.N., Retterstøl K., Christophersen, B.O. (2003) “Metabolism of long-chain polyunsaturated fatty acids in testicular cells.” In: Garnsworthy P.C., Wiseman J. “Recent advances in animal nutrition” Nottingham University Press, 11-22.

Treem W.R., Ahsan N., Shoup M., Hyams J.S. (1994) “Fecal short-chain fatty acids in children with inflammatory bowel disease.” *J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr.* 18, 159-164.

Turek J.J., Li Y., Schoenlein I.A., Allen K.G.D., Watkins B.A. (1998) “Modulation of macrophage cytokine production by conjugated linoleic acid is influenced by the dietary n-6:n-3 fatty acid ratio.” *J Nutr Biochem* 9, 258-266.

Weber T. E., Kerr B. J..(2006a) “Butyrate differentially regulates cytokines and proliferation in porcine peripheral blood mononuclear cells.” *Vet. Immunol. Immunopathol.* 113, 139–147.

Weber T.E., Richert B.T., Belury M.A., Gu Y., Enright K., Schinckel A.P. (2006b) “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., Richert B.T., Radcliffe J.S., Schinckel A.P., Burgess J.R., Koser S.L., Donkin S.S., Latour M.A. (2009) “Feeding conjugated linoleic acid partially recovers carcass quality in pigs fed dried corn distillers grains with solubles” *J Anim Sci.* 87, 157-166.

Wilfart A., Ferreira J., Mounier A., Robin G., Mourot J. (2004). “Effet de différentes teneurs en acides gras n-3 sur les performances de croissance et la qualité nutritionnelle de la viande de porc”. *Journ. Rech. Porc. France* 36, 195-202.

Wood J.D, Enser M., Fisher A. V., Nute G. R., Richardson R.I., Sheard P.R. (1999) “Manipulating meat quality and composition.” *Proc. Nutr. Soc.* 58, 363-370.

Zhan Z.P., Huang F.R., Luo J., Dai J. J., Yan X.H., Peng J. (2009)“Duration of feeding linseed diet influences expression of inflammation-related genes and growth performance of growing-finishing barrows” *J. Anim. Sci.* 87, 603-611.