

V. CARDENIA,  
M.T. RODRIGUEZ-ESTRADA,  
F. CUMELLA, M. MASSIMINI,  
G. LERCKER

## Effetti dell'alimentazione e delle condizioni di conservazione sulla stabilità ossidativa dei lipidi da carne di suino

PROGRESS IN NUTRITION  
VOL. 10, N. 2, 101-108, 2008

### TITLE

Effects of dietary supplementation and storage conditions on the oxidative stability pork meat lipids

### KEY WORDS

Pork meat, oxidation, lipids, photosensitized oxidation, dietary supplementation, storage

### PAROLE CHIAVE

Carne suina, ossidazione, lipidi, foto-sensibilizzazione, supplementazione, diete, conservazione

Dipartimento di Scienze degli Alimenti, Università di Bologna

Indirizzo per la corrispondenza:  
Dr. Maria Teresa Rodriguez-Estrada  
Dipartimento di Scienze degli Alimenti  
Università di Bologna  
Viale Fanin 40  
I-40127 Bologna (Italia)  
Tel. +39 0512096011  
Fax: + 39 0512096017  
E-mail: maria.rodriquez@unibo.it

### Summary

The aim of this study was to evaluate the effects of dietary supplementation with high-oleic sunflower oil (GAO) and/or  $\alpha$ -tocopheryl acetate (vit. EAc), as well as the influence of storage conditions, on the oxidative stability of pork meat lipids. Four different isocaloric and isolysin diets (control; 3% GAO; 250 mg/Kg vit. EAc; 3% GAO + 250 mg/Kg vit. EAc) were given to females and castrated males until slaughtering (160-170 kg). Meat slices obtained from the different groups of animals, were packed in vessels with transparent shrink film (half of them were covered with aluminum foil) and subjected to photosensitized oxidation with a white fluorescent light for three days (at 8°C under commercial retail conditions). The highest amount of COPs (5,0-25,3 ppm of lipids and 0,3-1,7 ppm of meat) were found in the group fed with the control diet. In general, the cholesterol oxidation rate was 0,1-0,2% of total cholesterol. After light exposure, COPs exhibited a similar trend to that of POV.

### Riassunto

Lo scopo di questo lavoro di ricerca è stato quello di valutare gli effetti dell'alimentazione e delle condizioni di conservazione sulla stabilità ossidativa dei lipidi da carne di suino. In particolare, sono stati impiegati mangimi arricchiti con olio di girasole alto oleico (GAO) e/o  $\alpha$ -tocoferil acetato (vit. EAc), e confrontati con una dieta controllo. Quattro differenti diete isocaloriche ed isolisينية (controllo; 3% GAO; 250 mg/Kg vit. EAc; 3% GAO + 250 mg/Kg vit. EAc) sono state somministrate a suini femmine ed a maschi castrati, fino alla loro macellazione (160-170 kg). Fettine dei campioni di carne così ottenuti sono state predisposte in vaschette (metà di loro ricoperte di carta argentata), sottoposte a foto-sensibilizzazione per 3 giorni consecutivi (in laguna termostata a 8°C) ed analizzate prima e dopo il trattamento. I valori dei prodotti di ossidazione del colesterolo (COPs) (5,0-25,3 ppm sui lipidi e 0,3-1,7 ppm sulla carne) più elevati sono stati rilevati nei campioni ottenuti con la dieta controllo. In generale, la percentuale di colesterolo ossidato rappresentava lo 0,1-0,2% del colesterolo totale. In seguito alla esposizione alla luce, i COPs hanno esibito un comportamento simile a quello osservato per i POV.

## Introduzione

Negli ultimi dieci anni, i consumatori hanno indotto grossi cambiamenti nell'industria della produzione di carne suina. L'aumento della richiesta da parte dei consumatori di carne sempre più magra ha portato ad un sistema di valutazione delle carcasse che ha discriminato in favore di quelle ad alto contenuto di carni magre (1). In parallelo, si è registrata anche una maggior domanda di prodotti che possano produrre effetti positivi sulla salute umana che, nel caso particolare della carne, si possono tradurre in un miglioramento della qualità della frazione lipidica (2). Questo obiettivo può essere raggiunto agendo sulla composizione della dieta degli animali, che si riflette particolarmente sulla composizione degli acidi grassi presenti nei lipidi della carne (2). Infatti, se si considerano le più recenti direttive di ordine nutrizionale, la tendenza sarebbe quella di ridurre il contenuto di acidi grassi saturi e monoinsaturi *trans*, noti per i loro effetti aterogenici (3), e di aumentare il quantitativo di acidi grassi polinsaturi (PUFA), in modo particolare di omega-3 (4-7). Tuttavia, anche se è desiderabile una riduzione del contenuto di acidi grassi saturi nella carne, un incremento degli acidi grassi insaturi potrebbe essere responsabile di una maggiore ossidazione, poiché essi

sono particolarmente suscettibili a suddetta degradazione (8). L'ossidazione, infatti, è un fenomeno che incide sulla qualità della carne, alterando le sue caratteristiche sensoriali e nutrizionali e quindi inficiando la sua shelf-life. Inoltre, è noto che i prodotti di ossidazione dei lipidi abbiano degli effetti nocivi per la salute umana. Un caso particolare è rappresentato dagli ossidi del colesterolo (COPs), i cui effetti biologici negativi sono ormai confermati, in particolare la loro incidenza sullo sviluppo di patologie cardiovascolari quali l'arteriosclerosi (9-11). Molti studi hanno dimostrato, infatti, l'influenza del tipo e qualità del grasso alimentare sulla formazione di COPs nelle carni (12-14). Altri ricercatori hanno dimostrato come diverse condizioni di processamento e conservazione possono portare a diversi livelli di ossidazione del colesterolo nelle carni (15-18).

Per contenere l'avanzamento del processo ossidativo nelle carni, si sono individuate diverse strategie, quali l'aggiunta di antiossidanti (i.e. la vitamina E nella forma di  $\alpha$ -tocoferil acetato), l'utilizzo di atmosfere modificate e di packaging che non permetta il passaggio della luce e/o aria (19).

L'obiettivo di questo studio è quello di valutare la stabilità ossidativa della frazione lipidica della carne suina, in relazione sia al tipo di supplementazione della dieta dei

suini, sia al trattamento di fotosensibilizzazione eseguito in condizioni commerciali standard.

## Materiali e metodi

### *Reagenti e solventi*

I solventi e reagenti utilizzati erano di grado analitico e sono stati forniti dalla Carlo Erba Reagenti (Milano, Italia), dalla BDH (Leicestershire, Inghilterra) e dalla Merck (Darmstadt, Germania).

### *Allevamento*

Per la presente sperimentazione, sono stati utilizzati 64 suini (32 maschi e 32 femmine) appartenenti al tipo genetico Duroc\* Large White, suddivisi in 4 tesi di 8 maschi castrati e di 8 femmine ciascuno, a loro volta suddivisi in 2 box di 4 animali ognuno.

Quattro differenti diete isocaloriche ed isolisniche sono state somministrate agli animali: mangime convenzionale senza aggiunta di grasso (CON); mangime convenzionale con aggiunta del 3% di olio di girasole caratterizzato da alto contenuto di acido oleico e basso contenuto di acido linoleico (GAO); mangime convenzionale addizionato di 250 ppm di vitamina E nella forma di  $\alpha$ -tocoferil acetato (VE); mangime convenzionale con aggiunta del 3% di olio di girasole (alto oleico e basso

linoleico) e 250 ppm di vitamina E naturale (GAOE).

Il girasole selezionato per l'olio ad alto contenuto di acido oleico (C18:1=85% e C18:2=7%) è stato prodotto durante la campagna agraria del 2005. Sul mercato è stata reperita la vitamina E naturale (estratta da soia e girasole) alle concentrazioni di 500 mg/g di  $\alpha$ -tocoferil acetato (450 mg di  $\alpha$ -tocoferolo o 700 U.I. di vitamina E); il prodotto è stato inserito nella dose di 500 g/t onde assicurare un arricchimento di 250 ppm di  $\alpha$ -tocoferil acetato.

La fase di allevamento, iniziata nel novembre 2005, si è conclusa nel mese di marzo 2006 ed è stata svolta presso gli stabulari della sezione operativa di Modena del Centro Ricerche sugli Animali (CRA). Al raggiungimento del peso previsto di macellazione (160-170 kg), i 64 suini, equamente ripartiti per gruppo e per sesso, sono stati macellati in due giornate distanziate di una settimana (1 e 8 marzo 2006).

#### *Campionamento*

Sono state tagliate delle fettine di 1 cm di spessore, di *Longissimus dorsi*, da destinare allo studio di fotossidazione. Sono state confezionate delle vaschette, contenenti 2 fettine ciascuna, coperte con una pellicola plastica e refrigerate fino alla prova di fotossidazione in frigo-laguna. Sono state preparate 24

vaschette per ogni dieta, incluso il controllo, per un totale di 96 campioni per macellazione. I campioni corrispondenti al tempo zero (T0) sono stati immediatamente congelati a  $-18^{\circ}\text{C}$  fino al momento dell'analisi.

Per la sperimentazione di fotossidazione in laguna, sono stati impiegati cinque lampade al neon, disposte in parallelo ed omogeneo, in modo da coprire la superficie della laguna; ciascuna lampada aveva una potenza di 36 watt, una intensità luminosa media di 1200 Lux ed una lunghezza pari a 1,2 m. Questi neon sono stati posti ad una distanza di 1,1 m dalle vaschette contenenti le due fette di carne suina. I campioni confezionati, in vaschette di polistirolo coperti con polietilene, sono stati posti all'interno di una laguna a temperatura controllata di  $8^{\circ}\text{C}$ , per 3 giorni, in diverse condizioni di luminosità: metà dei campioni sono stati tenuti al buio (T3B), mentre i rimanenti sono stati esposti alla radiazione luminosa (T3L). Alla fine dei diversi periodi di esposizione alla luce, i campioni sono stati congelati a  $-18^{\circ}\text{C}$  fino al momento dell'analisi.

#### *Estrazione dei lipidi totali*

L'estrazione del grasso è stata eseguita secondo una versione modificata (20) del metodo suggerito da Folch et al. (21), il quale consente l'estrazione dei lipidi da matrici di

tipo alimentari. A 30 g di campione sono stati aggiunti 200 ml di una soluzione  $\text{CH}_2\text{Cl}:\text{CH}_3\text{OH}$  (1:1, v/v), omogeneizzati per 3 min con turbina Ultraturax a 2400 rpm e posti in stufa a  $60^{\circ}\text{C}$  per 20 min. Dopo aver raffreddato il campione, sono stati aggiunti 100 ml di  $\text{CH}_2\text{Cl}$  ed il tutto è stato filtrato in un filtro Buchner ricoperto da un filtro Whatman 1 di 90 mm di diametro (Maidstone, Inghilterra). Dopo aver aggiunto KCl, la miscela è stata lasciata riposare per una notte in frigo a  $4^{\circ}\text{C}$ . Il giorno successivo, la fase organica è stata separata e, dopo anidrifazione, il solvente è stato allontanato; la frazione lipidica è stata raccolta con una miscela di *n*-esano:isopropanolo (4:1, v/v) e conservata in freezer a  $-18^{\circ}\text{C}$ . È stata eseguita una estrazione dei lipidi in ogni singolo campione.

#### *Determinazione del numero di perossidi (POV)*

La determinazione dei prodotti primari di ossidazione (idroperossidi) è stata eseguita mediante il metodo spettrofotometrico del numero di perossidi (POV) (22). Questa analisi si basa sull'abilità degli idroperossidi di ossidare ioni ferrosi a ferrici. Il tiocianato d'ammonio reagisce con gli ioni ferrici, dando luogo alla formazione di un composto cromogeno che si determina a 500 nm; il risultato si esprime in

meq O<sub>2</sub>/kg lipidi. La determinazione del POV è stata eseguita in doppio in ogni singolo campione.

#### *Determinazione dei TBARs*

La determinazione dei prodotti secondari di ossidazione (quali aldeidi e chetoni) è stata eseguita mediante il metodo spettrofotometrico dei TBARs (23). Questo tipo di analisi si esegue direttamente sulla carne e misura quantitativamente la reazione dell'acido tiobarbiturico con le aldeidi presenti nei campioni, dando luogo alla formazione di un composto cromogeno che si determina a 530 nm; il risultato si esprime in mg di malonilaldeide (MDA) per kg di carne. Il MDA è un prodotto di ossidazione dei lipidi e viene considerato come l'aldeide che partecipa preferenzialmente alla formazione del cromogeno (24). La determinazione dei TBARs è stata eseguita in doppio in ogni singolo campione.

#### *Analisi degli steroli e dei prodotti di ossidazione del colesterolo*

Circa 250 mg dell'estratto lipidico sono stati addizionati di betulinolo e 19-idrossicolesterolo (standard interni per la quantificazione rispettiva degli steroli e dei COPs) e sottoposti a saponificazione a freddo (25). Una volta estratta la frazione insaponificabile con etere dietilico, essa è stata divisa in due

aliquote: 1/10 per l'analisi degli steroli ed i rimanenti 9/10 per l'analisi dei COPs previa purificazione su SPE-NH<sub>2</sub> (26).

Gli steroli totali (liberi ed esterificati) ed i COPs purificati sono stati silanizzati (27), portati a secco a 40°C sotto flusso di azoto, diluiti con esano, centrifugati a 1500 rpm per 3 min ed analizzati in gascromatografia capillare (cGC). Un microlitro del surnatante è stato iniettato in un gascromatografo HRGC-5300 Mega Series (Carlo Erba Instruments, Milano; Italia) accoppiato ad una colonna capillare CP-SIL 5 CB Varian (30 m x 0,25 mm x 0,2 µm) (Chrompack-Varian, Middelburg, The Netherlands). La temperatura del forno è stata programmata da 265°C a 280°C a 0,5°C/min, e da 280°C a 325°C a 4°C/min; la temperatura finale è stata mantenuta per 10 min. Le temperature dell'iniettore e del rivelatore sono state fissate a 325°C. L'elio è stato usato come gas di trasporto ad un flusso di 2,9 mL/min. Il rapporto di splitaggio era 1:15. La determinazione degli steroli totali e dei COPs è stata eseguita in doppio in ogni singolo campione.

#### **Risultati e discussione**

Il contenuto di lipidi nelle carni suine oscillava tra 3,8 e 10,3%; questa variabilità può essere dovuta ad un diverso rifilamento delle fettine.

Di conseguenza, non sono state riscontrate delle relazioni significative tra il contenuto di lipidi e la dieta assunta dagli animali.

Il contenuto di steroli fluttuava tra 569 e 1056 mg/100 g lipidi, che corrisponde a 0,03 e 0,09 mg di steroli/100 g carne; questa variabilità nei dati può essere in parte dovuta al tipo di dieta ed anche ad un diverso rifilamento delle fettine. Tuttavia, non sono state riscontrate delle relazioni significative tra il contenuto di steroli e la dieta assunta dagli animali. Sembra che le caratteristiche dei singoli animali possano portare ad annullamento delle possibili differenze da imputare alle diete.

Nel caso della composizione degli steroli, il colesterolo costituiva circa il 97%, seguito dal campesterolo, sitosterolo, 5-avenasterolo e stigmasterolo (tracce). Il campesterolo rappresentava circa il 60-70% degli steroli vegetali. L'elevata percentuale di campesterolo, insieme al basso contenuto di sitosterolo e l'assenza del 7-stigmastenolo, non corrisponde al profilo caratteristico dei fitosteroli presenti nell'olio di girasole alto oleico (28), il che fa ritenere che i fitosteroli siano stati assorbiti in quantità selettivamente differenti o siano stati utilizzati dagli animali in modo diverso.

In generale, si può osservare che gli andamenti medi dei POV e TBARs (Tab. 1 e 2) sono diversi nelle fettine ottenute dalle femmine

rispetto a quelli ricavate dai maschi. Tuttavia, è importante sottolineare che si è registrata una certa variabilità nelle caratteristiche ossidative dei singoli animali, il che può aver mascherato o condizionato parzialmente le possibili differenze dovute alle diete.

I livelli di POV riscontrati nei diversi campioni di carne suina variavano tra 0,5 e 9,4 meq O<sub>2</sub>/kg di lipidi, essendo tutti al di sotto del valore di POV associato con lo sviluppo di rancidità (POV ≥ 20) (29). Nel caso dei POV (Tab. 1) rilevati nei campioni al tempo zero, si è osservato in generale un certo calo nei campioni di carne di suini alimentati con GAO, VE e GAOE rispetto ai campioni di controllo, grazie alla loro attività antiossidante. Dopo 3 giorni di esposizione alla luce o al buio, i campioni hanno registrato una diminuzione o un incremento rispetto ai valori a tempo zero, a seconda della fase di ossidazione in cui si trovavano i singoli campioni. Tuttavia, è importante sottolineare che la maggior parte dei campioni controllo esibiscono valori di POV più elevati rispetto alle fettine di carne di suini alimentati con GAO, VE e GAOE.

I TBARs rilevati nei diversi campioni di carne suina variavano tra 0 e 3,6 MDA/kg di carne, essendo quasi tutti al di sotto del valore di TBARs associato con lo sviluppo di rancidità (TBARs ≥ 3 mg MDA/kg di carne) (24); solo il campione di

**Tabella 1** - Valori di perossidi (POV) (espressi in meq O<sub>2</sub>/kg di lipidi) rilevati nei campioni di carne suina, ottenuti con diverse diete e sottoposti a differenti condizioni di conservazione. I dati sono riportati come valori medi con le relative deviazioni standard

Campioni	POV (meq O <sub>2</sub> /kg lipidi)			
	CON	GAO	VE	GAOE
Maschi T0	2,3 ± 2,2	4,4 ± 0,6	1,0 ± 0,1	1,6 ± 1,0
Maschi T3B	9,4 ± 0,7	4,7 ± 4,4	4,8 ± 1,8	3,0 ± 0,3
Maschi T3L	6,2 ± 6,3	1,8 ± 1,8	2,2 ± 2,3	2,0 ± 1,9
Femmine T0	1,6 ± 0,3	1,3 ± 0,9	1,3 ± 0,2	1,4 ± 0,4
Femmine T3B	1,4 ± 1,1	2,2 ± 1,8	0,6 ± 0,4	0,5 ± 0,1
Femmine T3L	5,9 ± 6,2	2,2 ± 1,5	1,6 ± 1,5	5,5 ± 5,8

Abbreviazioni: CON, controllo; GAO, girasole alto oleico; VE, α-tocoferil acetato; GAOE, girasole alto oleico + α-tocoferil acetato; T0, tempo zero; T3B, 3 giorni al buio; T3L, 3 giorni alla luce

**Tabella 2** - Contenuto di sostanze reattive all'acido tiobarbiturico (TBARs) (espresso in mg di MAD/kg di carne) rilevato nei campioni di carne suina, ottenuti con diverse diete e sottoposti a differenti condizioni di conservazione. I dati sono riportati come valori medi con le relative deviazioni standard

Campioni	TBARs (mg MDA/kg carne)			
	CON	GAO	VE	GAOE
Maschi T0	0,4 ± 0,1	0,3 ± 0,1	NR	0,1 ± 0,0
Maschi T3B	0,8 ± 0,0	1,0 ± 1,3	0,8 ± 0,8	0,6 ± 0,4
Maschi T3L	2,3 ± 1,9	1,8 ± 1,8	1,7 ± 1,5	1,1 ± 1,7
Femmine T0	0,4 ± 0,0	0,3 ± 0,1	0,4 ± 0,3	1,4 ± 0,4
Femmine T3B	0,7 ± 0,4	0,9 ± 0,4	0,6 ± 0,6	0,6 ± 0,4
Femmine T3L	1,8 ± 0,7	3,6 ± 3,6	1,4 ± 0,9	1,6 ± 0,7

Abbreviazioni: CON, controllo; GAO, girasole alto oleico; VE, α-tocoferil acetato; GAOE, girasole alto oleico + α-tocoferil acetato; T0, tempo zero; T3B, 3 giorni al buio; T3L, 3 giorni alla luce

carne ottenuto da suini femmine ed esposto alla luce per 3 giorni (Femmine T3L) ha superato tale limite. In generale, i TBARs (Tab. 2) han-

no subito un incremento con il tempo di stoccaggio, essendo più elevati nei campioni esposti alla luce rispetto a quelli tenuti al buio. E' im-

portante sottolineare che la maggior parte dei campioni controllo esibiscono valori di TBARs più elevati rispetto alle fettine di carne di suini alimentati con GAO, VE e GAOE, il che conferma un loro effetto antiossidante.

Nel caso del contenuto di COPs (Tab. 3 e 4), esso oscillava tra 5,0-25,3 ppm sui lipidi, che corrispondono a 0,3-1,7 ppm sulla carne e 0,1-0,2% di colesterolo ossidato. I bassi quantitativi di COPs riscontrati nelle carni suine sono simili a quelli riportati in altri studi (15-16, 30) e non dovrebbero rappresentare un rischio per la salute umana, poiché i loro effetti biologici negativi sembra si manifestino a livelli superiori rispetto all'attuale consumo giornaliero di questo tipo di alimento (9, 31-32). Al tempo zero, si è osservato un calo significativo della quantità di COPs nei campioni di carne di suini alimentati con GAO e VE rispetto ai campioni di controllo, grazie alla loro attività antiossidante. Tuttavia, il campione GAOE presentava addirittura un valore significativamente più alto rispetto al controllo, per cui è probabile che la loro combinazione abbia un effetto proossidante piuttosto che antiossidante.

Dopo 3 giorni di esposizione alla luce, i campioni controllo e GAOE hanno registrato un calo significativo nel contenuto di COPs rispetto ai campioni a tempo zero, mentre il campione VE esibisce un aumento

**Tabella 3** - Contenuto di COPs (espressi in ppm sui lipidi) rilevato nei campioni di carne suina, ottenuti con diverse diete e sottoposti a differenti condizioni di conservazione. I dati sono riportati come valori medi con le relative deviazioni standard

Campioni	COPs (mg/kg lipidi)			
	CON	GAO	VE	GAOE
Maschi T0	14,7 ± 7,9	7,8 ± 1,8	12,5 ± 4,1	12,3 ± 2,5
Maschi T3B 2	0,8 ± 5,3	11,6 ± 3,5	9,5 ± 0,4	11,3 ± 0,4
Maschi T3L	16,6 ± 2,0	9,6 ± 1,2	11,3 ± 2,5	7,5 ± 0,6
Femmine T0	14,5 ± 4,2	12,4 ± 5,2	9,1 ± 1,4	12,7 ± 0,4
Femmine T3B	11,9 ± 3,1	8,0 ± 0,6	7,5 ± 2,7	7,3 ± 2,7
Femmine T3L	15,7 ± 8,8	11,9 ± 4,3	12,4 ± 1,3	16,6 ± 8,5

Abbreviazioni: CON, controllo; GAO, girasole alto oleico; VE,  $\alpha$ -tocoferil acetato; GAOE, girasole alto oleico +  $\alpha$ -tocoferil acetato; T0, tempo zero; T3B, 3 giorni al buio; T3L, 3 giorni alla luce

**Tabella 4** - Contenuto di COPs (espressi in ppm sulla carne) rilevato nei campioni di carne suina, ottenuti con diverse diete e sottoposti a differenti condizioni di conservazione. I dati sono riportati come valori medi con le relative deviazioni standard

Campioni	COPs (mg/kg carne)			
	CON	GAO	VE	GAOE
Maschi T0	0,7 ± 0,3	0,7 ± 0,1	1,2 ± 0,5	1,3 ± 0,3
Maschi T3B	1,3 ± 0,5	0,7 ± 0,1	0,6 ± 0,3	0,8 ± 0,4
Maschi T3L	1,0 ± 0,3	0,5 ± 0,2	0,6 ± 0,2	0,5 ± 0,3
Femmine T0	0,9 ± 0,0	1,1 ± 0,7	0,7 ± 0,2	0,9 ± 0,0
Femmine T3B	0,6 ± 0,2	0,5 ± 0,1	0,4 ± 0,1	0,3 ± 0,1
Femmine T3L	0,9 ± 0,6	0,8 ± 0,3	0,6 ± 0,1	0,7 ± 0,3

Abbreviazioni: CON, controllo; GAO, girasole alto oleico; VE,  $\alpha$ -tocoferil acetato; GAOE, girasole alto oleico +  $\alpha$ -tocoferil acetato; T0, tempo zero; T3B, 3 giorni al buio; T3L, 3 giorni alla luce

considerevole. Inoltre, si è osservato un aumento significativo della quantità di COPs nei campioni di carne di suini alimentati con VE e

GAOE rispetto ai campioni di controllo.

In quanto ai campioni tenuti al buio per 3 giorni, essi hanno subito

un calo significativo nel contenuto di COPs rispetto ai campioni a tempo zero, tranne il campione VE. Solo il campione GAOE ha registrato una diminuzione significativa rispetto al campione di controllo.

In generale, i COPs più abbondanti sono gli epossidati ( $\alpha$  e  $\beta$ ) ed il 7-chetocolesterolo, seguiti dagli idrossi derivati ( $\alpha$  e  $\beta$ ). Nonostante si osservino certe tendenze a seconda della dieta, sembra che le caratteristiche ossidative dei singoli animali al momento della macellazione possano aver mascherato o condizionato parzialmente le possibili differenze da imputare alle diete.

In ultima analisi, sembra che l' $\alpha$ -tocoferil acetato abbia aumentato la stabilità ossidativa della carne suina quando esposta alla luce in condizioni commerciali standard, mentre non sono stati identificate delle tendenze definite da imputare alla supplementazione con olio di girasole alto oleico.

## Conclusioni

Il tipo di alimentazione e le condizioni di conservazione hanno definitivamente inciso sulla stabilità ossidativa dei lipidi da carne di suino. I campioni ottenuti con la dieta controllo, non addizionata con  $\alpha$ -tocoferil acetato, hanno presentato i livelli di ossidazione più elevati,

confermando l'effetto antiossidante della vitamina E presente in tutte le altre diete. Infatti, sembra che l' $\alpha$ -tocoferil acetato abbia aumentato la stabilità ossidativa della carne suina quando esposta alla luce in condizioni commerciali standard, mentre non sono stati identificate delle tendenze definite da imputare alla supplementazione con olio di girasole alto oleico. Durante lo stoccaggio al buio, entrambi i POV e TBARs hanno subito un incremento, mentre l'esposizione alla luce ha portato ad una demolizione dei POV che si è tradotta in un aumento significativo dei TBARs. Nonostante siano stati rilevati delle variazioni nei diversi parametri utilizzati per la valutazione dell'ossidazione, la maggior parte dei campioni presentavano sia valori di POV e di TBARs al di sotto del limite di rancidità, sia quantitativi di COPs (0,1-0,2% del colesterolo totale) che non dovrebbero rappresentare un rischio per la salute umana (9, 31, 32).

## Ringraziamenti

Questo lavoro è parte del progetto "Valorizzazione della qualità e tracciabilità di filiera delle carni suine" finanziato con fondi PRIN-MIUR bando 2004.

## Bibliografia

1. Richardson RI, Enser M, Whittington FW, et al. Effects of product type and

fatty acid composition on self life of nutritionally modified beef. Proceedings of British Society of Animal Science 2003; 41.

2. Scollan ND, Enser M, Richardson RI, et al. Optimising the fatty acid composition of beef muscle. Proceedings of British Society of Animal Science 2002; 40.
3. British Nutrition Foundation. *Trans fatty acids. The report of the BNF task force.* British Nutrition Foundation, London, England, 1995
4. Kris-Etherton PM, Shaffer-Taylor D, Yu-Poth S, et al. Polyunsaturated fatty acids in the food chain in the United States. *Am J Clin Nutr* 2000; 71: 179-88.
5. Van Oeckel MJ, Casteels M, Warnants N, et al. Omega-3 fatty acids in pig nutrition: implications for the intrinsic and sensory quality of the meat. *Meat Sci* 1996; 44: 55-63.
6. Wood JD, Richardson RI, Nute GR, et al: Effects of fatty acids on meat quality: a review. *Meat Sci* 2003; 66: 21-32.
7. Wood JD, Enser M, Fisher AV, et al: Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: a review. *Meat Sci* 2007; doi:10.1016/j.meatsci.2007.07.019.
8. Choe E, Min DB. Chemistry and reactions of reactive oxygen species in foods. *Crit Rev Food Sci Nutr* 2006; 46: 1-22.
9. Schroeffer GJ Jr. Oxysterols: Modulators of cholesterol metabolism and other processes. *Physiol Rev* 2000; 80: 361-554.
10. Garcia-Cruset S, Carpenter KLH, Codony R, et al. Cholesterol oxidation products and atherosclerosis. In Guardiola F, Dutta PC, Codony R, Savage GP: Cholesterol and phytosterol oxidation products: analysis, occurrence, and biological effects. Champaign (IL): AOCS Press, 2002: 241-77.
11. Osada K. Cholesterol oxidation products: other biological effects. In Guardiola F, Dutta PC, Codony R,

- Savage GP: Cholesterol and phytosterol oxidation products: analysis, occurrence, and biological effects. Champaign (IL): AOCS Press, 2002: 278-318.
12. Grau A, Codony R, Grimpa S, et al: Cholesterol oxidation in frozen dark chicken meat: influence of dietary fat source, and  $\alpha$ -tocopherol and ascorbic acid supplementation. *Meat Sci* 2001; 57: 197-208.
  13. Kerry JP, Gilroy DA, O'Brein NM, et al. Formation and content of cholesterol oxidation products in meat and meat products. In Guardiola F, Dutta PC, Codony R, Savage GP: Cholesterol and phytosterol oxidation products: analysis, occurrence, and biological effects. Champaign (IL): AOCS Press, 2002: 162-85.
  14. Bonoli M, Caboni MF, Rodriguez-Estrada MT, et al: Effect of feeding fat sources on the quality and composition of lipids of precooked ready-to-eat fried chicken patties. *Food Chem* 2007; 101: 1327-37.
  15. Rodriguez-Estrada MT, Penazzi G, Caboni MF, et al: Effect of different cooking methods on some lipid and protein components of beef hamburger. *Meat Sci* 1997; 45: 365-75.
  16. Boselli E, Caboni MF, Rodriguez-Estrada MT, et al. Photooxidation of cholesterol and lipids of turkey meat during storage under commercial retail conditions. *Food Chem* 2005; 91: 705-13.
  17. Baggio SR, Bragagnolo N. Cholesterol oxide, cholesterol, total lipid and fatty acid contents in processed meat products during storage. *LWT-Food Sci Technol* 2006; 39: 513-20.
  18. Bonoli M, Caboni MF, Rodriguez-Estrada MT, et al. Effect of processing technology on the quality and composition of lipids of precooked chicken patties. *Int J Food Sci Technol* 2007; doi: 10.1111/j.1365-2621.2007.01434.x.
  19. Decker EA, Xu Z. Minimizing rancidity in muscle foods. *Food Technol* 1998; 52: 54-9.
  20. Boselli E, Velazco V, Caboni MF, et al. Pressurized liquid extraction of lipids for the determination of oxysterols in egg-containing food. *J Chromatogr A* 2001; 917: 239-44.
  21. Folch J, Lees M, Sloane-Stanley GH. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J Biol Chem* 1957; 226: 497-509.
  22. Shanta CA, Decker EA. Rapid sensitive, iron-based spectrophotometric methods for determination of peroxide values of food lipids. *J AOAC Int* 1994; 77: 421-4.
  23. Tarladgis BG, Pearson AM, Dugan L Jr. Chemistry of the 2-thiobarbituric acid test for determination of oxidative rancidity in Foods. II. Formation of the TBA-malonaldehyde complex without acid-heat treatment. *J Sci Food Agric* 1964; 15: 602-7.
  24. Fernández J, Pérez-Alvarez JA, López JAF. Thiobarbituric acid test for monitoring lipid oxidation in meat. *Food Chem* 1997; 59: 345-53.
  25. Sander BD, Addis PB, Park SW, et al. Quantification of cholesterol oxidation products in a variety of foods. *J Food Prot* 1989; 52: 109-14.
  26. Rose-Sallin AC, Hugget JO, Bosset R, et al: Quantification of cholesterol oxidation products in milk powders using [ $^3$ H] cholesterol to monitor cholesterol autooxidation artefacts. *J Agric Food Chem* 1995; 43: 935-41.
  27. Sweeley CC, Bentley R, Makita M, et al. Gas-liquid chromatography of trimethylsilyl derivatives of sugars and related substances. *J Am Oil Chem Soc* 1963; 85: 2497-507.
  28. Stazione Sperimentale per le Industrie degli Oli e dei Grassi. Caratteristiche oli e grassi vegetali. Inchiesta pubblica. *Riv Ital Sost Grasse* 2002; 79 (Supplemento): 19-20.
  29. Lercker G. La coservazione degli oli d'oliva. In: *Olio d'oliva: all'origine della qualità*. Imperia : Organizzazione Nazionale Assaggiatori Olio d'Oliva (ONAOO), 2005: 37-61.
  30. Lercker G, Rodriguez-Estrada MT: Cholesterol oxidation: presence of 7-ketocholesterol in different food products. *J Food Comp Anal* 2000; 13: 625-31.
  31. Ryan E, Chopra J, McCarthy F, et al: Qualitative and quantitative comparison of the cytotoxic and apoptotic potential of phytosterol oxidation products with their corresponding cholesterol oxidation products. *Br J Nutr* 2005; 94: 443-51.
  32. Sevanian, A. Personal communication. In Ursini F, Cadenas E: *The International Symposium "Biological Free Radical Oxidations and Antioxidants"*. Udine (Italy): CLUEB University Publisher, 1 to 4 July 1991, Padova (Italy).