

A. FORMIGONI, N. BROGNA,
A. PALMONARI, N. PANCIROLI,
M. FUSTINI

Alimentazione delle bovine, produzione e composizione del grasso del latte

PROGRESS IN NUTRITION
VOL. 12, N. 2, 172-182, 2010

TITLE

Dairy Cows feeding and milk fat production and composition

KEY WORDS

Nutrition, fatty acids, CLA

PAROLE CHIAVE

Alimentazione, acidi grassi, CLA

DIMORFIPA

Alma Mater Studiorum
Università di Bologna

Indirizzo per la corrispondenza:
Prof. Andrea Formigoni
DIMORFIPA - Alma Mater Studiorum
Università di Bologna
Via Tolara di Sopra 50
40064 Ozzano dell'Emilia (BO), Italy
Tel. +39 051 2097390
Fax +39 051 2097373
E-mail: andrea.formigoni@unibo.it

Summary

In milk, fat composition is able to influence its palatability, selling costs, cheese making and nutritional properties. An important milk characteristic is the presence of some isomers called Conjugated Linoleic Acid (CLA), which posses several benefits to the consumer health already proved. There are many factors able to modify milk fat quantity and quality, but it is possible to summarize them in: cows genetics, stage of lactation, environment, farming and feeding management. Objective of this lecture is underline and characterize the main chances to modify milk fat production and fatty acids composition through nutrition and feeding.

Riassunto

Il contenuto di grasso influenza in maniera determinante le sue caratteristiche sensoriali, il valore merceologico, le rese casearie e le proprietà nutrizionali. Il latte infatti, può vantare la peculiarità di apportare quantità interessanti di alcuni isomeri degli acidi grassi insaturi, i coniugati dell'acido linoleico (CLA), che svolgono documentate azioni favorevoli per la salute dei consumatori. I fattori in grado di modificare la quantità e la qualità del grasso del latte sono riconducibili al patrimonio genetico delle bovine, alla fase di lattazione, all'ambiente, alle tecniche di allevamento e all'alimentazione delle bovine; obiettivo della presente memoria è quello di sintetizzare le principali possibilità di modificare attraverso l'alimentazione la quantità di grasso secreta e la sua composizione in acidi grassi.

Introduzione

Il contenuto di grasso del latte, compreso fra i 30 e i 45 grammi litro, ne influenza in maniera determinante le caratteristiche sensoriali, il valore merceologico, le rese casearie e le proprietà nutrizionali.

Data questa straordinaria importanza, da molti anni, i ricercatori che lavorano nell'ambito della scienza dell'allevamento hanno manifestato un grande interesse allo studio dei fattori genetici e ambientali che condizionano la sintesi del grasso del latte in termini sia

quantitativi sia qualitativi. L'attenzione nei confronti delle frazioni lipidiche del latte si è accresciuta da quando il mondo medico ha associato al consumo di lipidi saturi la comparsa di diverse malattie croniche come l'aterosclerosi. Il consumo di latte nelle sue diverse forme contribuisce, per la popolazione europea, all'apporto di acidi grassi saturi per una quota compresa fra il 25 e il 60% del totale e, in tal senso, si intuisce il motivo della visione critica manifestata da molti medici nei confronti del suo consumo. In realtà queste posizioni sono in gran parte ingiustificate, tenuto conto che ben oltre il 50% del grasso contenuto in questo nobile alimento è costituito da acidi grassi saturi a corta catena, da acido oleico e stearico e che, nell'insieme, questi composti sono da considerarsi favorevoli sotto il profilo dietetico. Il latte, inoltre, può vantare la peculiarità di apportare quantità interessanti di alcuni isomeri degli acidi grassi insaturi, i coniugati dell'acido linoleico (CLA), che svolgono documentate azioni favorevoli per la salute dei consumatori.

I fattori in grado di modificare la quantità e la qualità del grasso del latte sono riconducibili al patrimonio genetico delle bovine, alla fase di lattazione, all'ambiente, alle tecniche di allevamento e all'alimentazione delle bovine (1); obiettivo della presente memoria è

quello di sintetizzare le principali possibilità di modificare attraverso l'alimentazione la quantità di grasso secreto e la sua composizione in acidi grassi.

La composizione dei trigliceridi del latte

Il grasso del latte è composto quasi per intero da trigliceridi (97-98%) e da quantità molto modeste di fosfolipidi (0,2-1%), diacilgliceridi (0,28-0,59%) e monoacilgliceridi (0,02-0,04%).

La composizione in acidi grassi dei trigliceridi vede una netta prevalenza di quelli saturi a numero pari di atomi di carbonio e a diversa lunghezza di catena. I più rappresentati sono l'acido palmitico (25-30% del totale), l'acido stearico (10-12% circa) e l'acido miristico (11% circa).

L'alta digeribilità del grasso del latte è dovuta alla presenza di acidi grassi a corta e media catena in esso contenuti (C:4-C:12). La frazione lipidica del latte è inoltre caratterizzata dalla presenza di acidi grassi insaturi quali l'oleico, che è presente in quantità superiori al 20%, e i coniugati dell'acido linoleico (CLA) che possiedono una provata attività anticancerogena e antiaterogena; essi sono inoltre dotati di proprietà immunostimolanti e appaiono anche svolgere attività di tipo anabolizzante. Nel

latte il principale CLA è l'acido rumenico (C18:2; *cis-9, trans-11*). Esso deriva dalla bio idrogenazione dell'acido linoleico operata dalla microflora nel ruminante e dalla desaturazione dell'acido vaccenico che avviene nella mammella per l'azione dell'enzima Stearoil-CoA Desaturasi (SCD); questo stesso enzima è responsabile della formazione di acido oleico a partire dall'acido stearico.

Il tenore totale di CLA nel latte è mediamente compreso tra i 2 e 50 mg/g di lipidi e, in gran parte, è legato all'apporto con la dieta di acidi grassi polinsaturi.

Il punto di fusione

Il punto di fusione del grasso del latte, mediamente compreso tra 32 e i 39°C, varia notevolmente in funzione dell'alimentazione ed è influenzato dagli acidi grassi insaturi presenti nella dieta. Da questo parametro dipende la spalmabilità della crema e del burro. Il punto di solidificazione è compreso tra 20 e 24°C. La variabilità dei punti di fusione e di solidificazione dipende dal fatto che il grasso del latte è una miscela di trigliceridi a diverso peso molecolare e grado d'insaturazione; il punto di fusione dei trigliceridi è, con buona approssimazione, collegato a quello dei principali acidi grassi che li compongono.

Si può stimare il punto di fusione medio (PFM), dividendo la percentuale molare di ogni singolo acido grasso (ottenuta per via gascromatografica e rappresentato in quantità superiore allo 0,1%) per il suo peso molecolare e moltiplicandolo per il suo punto di fusione (2): si ottiene così un valore che indica quanto ogni acido grasso pesa sul punto di fusione medio del grasso totale. Sommando poi i relativi contributi si può ottenere una stima complessivamente accettabile.

La formula descritta può essere così riassunta:

PFM =

$$\sum_i^n \frac{x_i}{mw_i} mp_i$$

Dove:

x_i = percentuale dell'acido grasso i -esimo

mw_i = peso molecolare dell'acido grasso i -esimo

mp_i = punto di fusione dell'acido grasso i -esimo

L'acido palmitico e stearico innalzano il punto di fusione mentre gli acidi grassi mono e polinsaturi e quelli a corta catena lo abbassano; la mammella attraverso l'azione dell'enzima SCD riesce a modulare la fluidità riducendo la quantità di acido stearico soprattutto innalzando quella di oleico. In generale

comunque si può affermare che l'impiego di lipidi insaturi nella dieta riduce il punto di fusione e di solidificazione rendendo più spalmabile il burro.

La sintesi dei grassi del latte

Il 60% circa degli acidi grassi necessari alla sintesi dei trigliceridi deriva dal circolo ematico, mentre la rimanente quota è prodotta nelle cellule mammarie a partire dall'acetato e dal β -idrossibutirrato (3), che derivano dalla fermentazione della sostanza organica degli alimenti nel rumine. La mammella sintetizza completamente gli acidi grassi di lunghezza inferiore o uguale a 14 atomi di carbonio e il 50% circa dell'acido palmitico. Il processo vede l'intervento di due enzimi essenziali (4): l'Acetil CoA Carbossilasi (ACC) e l'Acido Grasso Sintasi (FAS).

Nella ghiandola mammaria, al contrario di ciò che avviene negli altri tessuti della bovina, l'acido palmitico non può essere allungato ad acido stearico (5), che però può essere convertito in acido oleico per l'azione della Stearoil-CoA Desaturasi (SCD), la quale introduce un doppio legame in posizione *cis*-9 della catena carboniosa.

Gli acidi grassi che hanno una lunghezza di catena superiore a 16 atomi di carbonio derivano da quelli assorbiti a livello intestinale

e da quelli liberati dalle riserve adipose. Il contributo di quest'ultima quota è interessante soprattutto nelle prime fasi della lattazione quando le bovine assumono alimenti in quantità inadeguate e ricorrono alle riserve per colmare i deficit di energia.

L'apporto dei lipidi di origine alimentare è variabile e dipende dalle caratteristiche della dieta; in generale, nelle razioni basate sull'impiego di foraggi, cereali e farine d'estrazione, i lipidi sono rappresentati in quantità comprese entro il 3-3,5% della sostanza secca, e anche quando si aggiungono alimenti ricchi di grassi, gli apporti si mantengono entro il 5,5-6%.

I lipidi disponibili all'assorbimento intestinale derivano anche dalla digestione dei batteri ruminali che sono in grado di sintetizzare *ex novo* gli acidi grassi e, come si vedrà di seguito, hanno un ruolo fondamentale nell'idrogenare quelli insaturi.

È importante ricordare come la biosintesi mammaria sia influenzata dalla presenza dei diversi acidi grassi.

Per esempio, la disponibilità di acido acetico comporta un'efficiente e intensa sintesi mammaria di trigliceridi; anche il butirrato agisce in questo senso contribuendo alla sintesi di grasso per un 15% circa.

La maggiore disponibilità di acidi grassi saturi a lunga catena, che in

genere è caratteristica nelle bovine in condizioni di deficit energetico o di uno specifico supplemento lipidico della razione, inibisce la sintesi *de novo* degli acidi grassi a corta catena. In tal senso si può comprendere la difficoltà nell'influenzare in maniera significativa la quantità di lipidi secreti attraverso la grassatura delle diete; nella maggioranza dei casi l'aumento delle concentrazioni di lipidi stimola la quantità di latte prodotto, e il fenomeno può essere interpretato alla luce del fatto che un maggiore disponibilità di acidi grassi saturi a lunga catena, che generalmente costituiscono i grassi che vengono utilizzati come supplementi, inibiscono l'utilizzo dell'acetato e del butirrato da parte della mammella. Questi substrati quindi possono essere utilizzati come fonti di energia dall'animale che può, di conseguenza, sintetizzare una maggiore quantità di lattosio; disaccaride osmoticamente attivo del latte che governa il volume produttivo richiamando una maggiore quantità di acqua.

La presenza di alcuni coniugati dell'acido linoleico, che come vedremo più avanti derivano dal consumo di acidi grassi insaturi a lunga catena, agisce direttamente sull'attività della FAS; in questo senso possono essere spiegate le flessioni, spesso repentine e imponenti, dei titoli lipidici del latte quando siano presenti intermedi

del ciclo di bio idrogenazione ruminale dei grassi insaturi.

Anche l'equilibrio energetico ed endocrino della bovina può influenzare la disponibilità di nutrienti per la mammella e la sua capacità di sintetizzare grassi; condizioni che, ad esempio, favoriscono la liberazione e l'attività dell'insulina (tipicamente legate a eccessivi apporti di amidi), modulano in senso negativo la ripartizione di energia per la mammella e la sua funzione nella sintesi *de novo* degli acidi grassi.

Il ruolo dell'alimentazione

Lo studio dei legami esistenti fra la dieta e la sintesi del grasso del latte ha attratto l'interesse del mondo scientifico fin dai primi anni del secolo scorso, quando fu descritta per la prima volta la cosiddetta "sindrome del latte magro". Più di recente l'attività dei ricercatori si è anche concentrata sulla possibilità di modificare la composizione in acidi grassi per migliorare le caratteristiche dietetiche del latte; questi studi hanno permesso di individuare numerosi fattori che spiegano in maniera plausibile, anche se non ancora del tutto esauriente, i complessi legami che esistono tra alimentazione, quantità, e composizione del grasso del latte. In senso generale si può affermare che la sintesi del

grasso è modulabile attraverso il controllo delle fermentazioni che avvengono nel rumine e attraverso il controllo dell'apporto in acidi grassi della razione.

Il controllo delle fermentazioni ruminanti

La degradazione dei glucidi e delle proteine, operata dalle popolazioni batteriche presenti nel rumine, porta alla formazione dell'acetato e del butirrato che la mammella utilizza per la sintesi degli acidi grassi a corta e media catena del latte; questi acidi grassi peraltro rappresentano anche una delle principali fonti di approvvigionamento energetico dell'animale. È noto che la sintesi di acetato è prevalente quando siano fermentati i glucidi fibrosi come la cellulosa e le emicellulose che, principalmente, sono presenti nei foraggi; il butirrato è invece prodotto dalla fermentazione delle pectine e degli zuccheri. In generale si può affermare che tanto più rapida e intensa è la presenza e la degradazione di questi glucidi, tanto maggiore sarà la disponibilità di substrati utili alla sintesi di acidi grassi a corta catena. Perché la degradazione della fibra nel rumine sia efficiente, è necessario che si creino condizioni favorevoli allo sviluppo e attività dei batteri cellulolitici. Queste popolazioni hanno un fab-

bisogno specifico di ammoniaca che usano come substrato azotato, e temono valori di pH del *liquor* ruminale inferiori a valori di 6.2: in questi casi, infatti, si riduce fortemente la loro capacità di moltiplicarsi e di digerire la fibra.

I valori di pH nel rumine dipendono dall'equilibrio che si realizza tra: potere acidificante degli acidi grassi volatili prodotti dalla degradazione della sostanza organica, rispetto al potere assorbente della mucosa ruminale e alla quantità di sostanze tampone disponibili.

Numerosi fattori intervengono nel regolare questo equilibrio dinamico; in genere possiamo affermare che quando si ha una lenta produzione di acidi grassi volatili (AGV) da glucidi, è relativamente facile evitare l'abbassamento del pH; nel caso invece in cui i glucidi apportati siano facilmente fermentabili (zuccheri semplici e amidi), la liberazione di AGV è più rapida, il rischio di un loro accumulo aumenta, e il pH si abbassa.

Vi sono poi altri fattori che contribuiscono a mantenere relativamente costante il pH ruminale, e fra questi ricordiamo il numero dei pasti e la struttura fisica degli alimenti, foraggi in particolare. Senza voler entrare troppo nel dettaglio si ritiene opportuno ricordare che, in condizioni naturali, il ruminante dedica molto tempo all'assunzione di alimenti che avviene in molti e piccoli pasti; ciò assicura un sub-

strato costante di fermentazione ai batteri ruminali e un regolare assorbimento di AGV da parte della mucosa. Negli allevamenti si dovrebbero mettere in atto strategie di razionamento che perseguano lo stesso obiettivo; infatti, se l'ingestione di glucidi rapidamente fermentabili (in pratica i mangimi) avviene in pochi e abbondanti pasti (meno di 4-6 al giorno), il pH ruminale fluttuerà più intensamente raggiungendo per molte ore valori inferiori a 5,6-5,8, sufficienti a ridurre intensamente la digestione della fibra con una diminuzione sensibile della quantità di acidi grassi volatili utili alla sintesi del grasso del latte.

La struttura fisica dei foraggi e la loro resistenza alla frantumazione influenza il numero di atti masticatori necessari per ingerire e ruminare gli alimenti, la quantità di saliva prodotta e i ritmi di svuotamento del rumine. Tutti questi fattori contribuiscono a influenzare i valori e la costanza del pH ruminale; in genere tanto più la struttura degli alimenti è fine, tanto più rapida è la loro ingestione e meno intense sono la masticazione e la secrezione di saliva; quest'ultima, per il suo contenuto di bicarbonato, fosfato, ed urea, è la principale sostanza tampone in grado di controllare le fluttuazioni di pH nel rumine. Si può quindi affermare che esiste una relazione diretta e positiva fra: apporto di fibra

fisicamente efficace (in pratica l'apporto di foraggi), induzione della masticazione, e sintesi di grasso nel latte.

L'impiego di quantità più elevate di mangimi modifica i rapporti di produzione fra AGV riducendo l'acetato a favore del propionato ma, com'è stato giustamente rilevato, ciò non è generalmente sufficiente per giustificare le flessioni dei titoli di grasso che frequentemente si osservano negli allevamenti; quasi mai, infatti, la produzione di acetato è così depressa da apparire insufficiente per la normale attività di biosintesi della mammella.

La giustificazione della "sindrome del latte magro" deve quindi essere trovata spiegazione in altri fattori.

Nutrizione lipidica e sindrome del latte magro

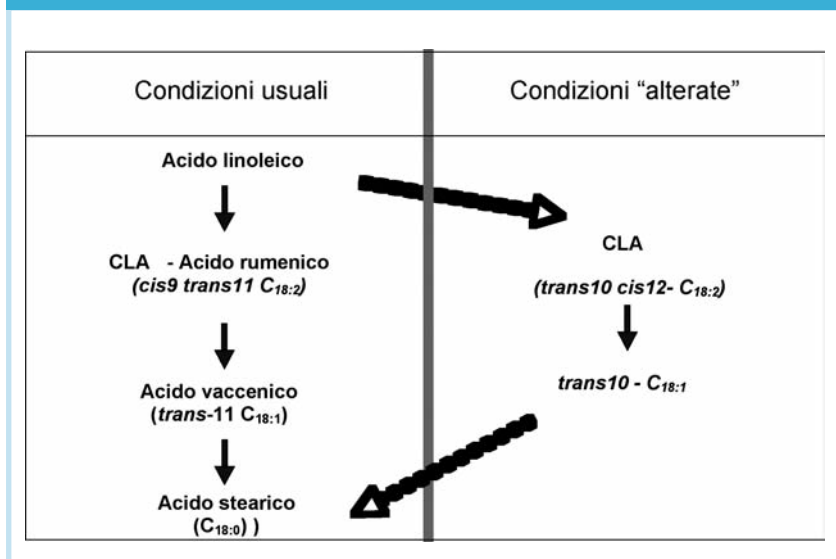
La maggior parte dei lipidi presenti negli alimenti vegetali assunti dal ruminante è sotto forma di trigliceridi insaturi e a lunga catena. Quando giungono nel rumine, i trigliceridi sono idrolizzati con una velocità generalmente elevata e comunque dipendente dal tipo di alimento e dal trattamento tecnologico adottato; il glicerolo è utilizzato come immediata fonte di energia, mentre gli acidi grassi che si liberano sono rapidamente idrogenati da parte di numerosi

ceppi batterici quali *Anaerovibrio lipolitica*, *Megasphaera elsdenii*, *Selenomonas ruminantium* e *Butirrivibrio fibrisolvens*.

La ragione per la quale i batteri cellulolitici agiscono prontamente a carico dei lipidi, saturandoli, è legata al fatto che gli acidi grassi insaturi ne alterano la fluidità di membrana, distruggono le proteine di trasporto, e reagiscono con il magnesio ed il calcio batterico per formare dei saponi (6). I ceppi cellulolitici risentono particolarmente di questa potenziale tossicità, infatti, la digeribilità della fibra si riduce di oltre il 10% quando nella dieta sono incluse elevate quantità di acidi grassi insaturi.

Il processo di bio-idrogenazione, che può essere considerato a tutti gli effetti un meccanismo di difesa messo in opera dai batteri, procede per tappe successive che portano alla formazione di prodotti intermedi e all'acido stearico come prodotto finale. In figura 1 viene riportato uno schema semplificato raffigurante le diverse tappe di questo processo. La produzione di acido rumenico (CLA - *cis*-9, *trans*-11) è attuata molto velocemente, a partire dall'acido linoleico, da un gruppo di batteri di cui fanno parte i butirrivibrio, i clostridi (7) e le spirochete; la saturazione ad acido stearico (C18:0) invece avviene più lentamente, ed è operata da microorganismi non ancora completamente identificati

Figura 1 - Principali tappe che portano alla completa idrogenazione dei lipidi insaturi nel ruminante in presenza di diverse assesti fermentativi



ma metabolicamente meno attivi dei primi. Il primo passaggio del processo descritto è un'isomerizzazione che sposta uno dei doppi legami di una posizione per produrre un intermedio coniugato necessario per la successiva tappa di saturazione. Se l'acido grasso di partenza è il linoleico, l'intermedio è definito CLA ovvero, Coniugato dell'Acido Linoleico, e il *B. fibrisolvens* ne è il maggior produttore (8). Molto simile è anche la sorte dell'acido linolenico e degli acidi grassi polinsaturi a lunga catena (come quelli presenti negli olii di pesce) che, presentando più doppi legami, necessitano di più passaggi per essere completamente saturati. Il fatto che la trasformazione ad acido stearico dei CLA sia relati-

vamente più lenta della prima isomerizzazione giustifica, almeno in parte, la comparsa di questi intermedi nell'intestino. In senso più generale questo fenomeno è l'espressione di quanto siano dinamiche anche le relazioni esistenti fra microbiota ruminale e lipidi alimentari. Il processo di formazione dei CLA è dunque strettamente dipendente dalle popolazioni microbiche presenti nel ruminante, dalla quantità di acidi grassi insaturi apportati con la dieta, e dalla velocità di transito degli alimenti nel ruminante.

Per tutti questi motivi nel caso in cui la dieta contenga quantità elevate di acidi grassi insaturi e siano presenti condizioni critiche per l'attività dei microorganismi capaci

di bio idrogenare, si ha un'elevata formazione di composti intermedi del processo (9). Recenti lavori hanno dimostrato l'esistenza di almeno dieci differenti CLA. Senza dubbio, l'isomero *cis-9, trans-11* è il principale ma, in determinate condizioni fermentative ruminanti dipendenti solo in parte dal pH, si può avere una sensibile produzione di *trans-10, cis-12*, un secondo isomero dell'acido linoleico; quest'ultimo è in grado di inibire la sintesi dell'enzima acido grasso sintasi nella ghiandola mammaria e si ritiene per questo il principale responsabile della "sindrome del latte magro".

In concomitanza con l'insorgere di questa sindrome è stata recentemente riscontrata la presenza di alcune specie batteriche ruminanti, altresì assenti o difficilmente quantificabili in condizioni di concentrazione *standard* di grasso (10).

Alcuni ceppi di *Megasphaera Elsdenii* sono, infatti, in grado di produrre questo CLA e, in molti casi, la loro presenza è incentivata da diete ricche di amidi e povere di fibra (11). Il fenomeno è riconducibile al fatto che la crescita di questi batteri è stimolata dalla presenza di acido lattico nel rumine. In razioni ricche di glucidi rapidamente fermentabili (zuccheri e amidi), specie se assunte in pasti infrequenti e abbondanti, si può registrare una repentina flessione del pH dovuta alla grande quantità di AGV pro-

dotti in seguito alla degradazione della sostanza organica. Se la vacca non è in grado di tamponare efficientemente il sistema, il pH continua la discesa favorendo lo sviluppo di *Streptococcus Bovis* che è il principale produttore di acido lattico; quest'ultimo ha un potere acidificante dieci volte maggiore degli AGV, quindi il pH discende ancora più velocemente e si può incorrere in accumulo di acido lattico che stimola lo sviluppo di *M. Elsdenii*, in grado di utilizzare il lattato per ricavare energia.

Come mantenere elevati titoli di grasso del latte?

In base alle considerazioni fin qui svolte appare chiaro che per esaltare la sintesi di grasso nel latte si debba agire limitando le condizioni che promuovono lo sviluppo dei ceppi dei microorganismi produttori dell'isomero *trans-10, cis-12* nel rumine ed esaltando la formazione degli acidi grassi che la mammella utilizzerà per le sintesi *de novo* degli acidi grassi. Per perseguire questi obiettivi, nelle condizioni pratiche di allevamento, si dovrà porre attenzione ai seguenti punti:

- includere nelle razioni sufficienti quantità di foraggi (minimo 40% della sostanza secca della razione), dotati di adeguata struttura (dimensione superiore a 0.8-1

centimetro di lunghezza) per indurre un'efficiente attività masticatoria e produzione di saliva;

- formulare razioni con contenuti di fibra neutro detersa sempre superiori al 28-30% della sostanza secca e caratterizzata da un'elevata degradabilità ruminale per "nutrire" i batteri cellulolitici; la fibra neutro detersa degradabile non dovrà essere inferiore al 10-11% della sostanza secca;
- adottare livelli prudenti di amido degradabile (rapporti inferiori all'unità rispetto alla quota di fibra effettiva per la masticazione) per evitare eccessive fluttuazioni del pH ruminale; in tal senso particolare attenzione andrà posta anche alle modalità con cui le razioni siano somministrate e assunte;
- limitare l'inclusione di acidi grassi insaturi (semi oleosi, sottoprodotti ricchi di lipidi ad elevato punto di insaturazione), soprattutto quando sussistano condizioni aziendali considerate a rischio di acidosi ruminale; in termini pratici l'apporto di acidi grassi insaturi dovrebbe sempre essere contenuto entro l'1,5-2% della sostanza secca della razione.

Le strategie per modificare il contenuto in acidi grassi del latte

Le possibilità di modificare le frazioni lipidiche del latte per quanto

possibili, non sono infinite. Le strategie adottabili si basano sull'apporto, attraverso la razione, di alimenti dotati di acidi grassi polinsaturi (Tab. 1).

Naturalmente si dovranno adottare delle misure diverse in funzione degli obiettivi che ci si propongono. Fra questi, hanno riscosso l'interesse degli allevatori e dei nutrizionisti le possibilità di elevare il contenuto di CLA (senza penalizzare eccessivamente i titoli di grasso del latte) e innalzare le concentrazioni in Omega 3.

Strategie per innalzare il contenuto in Omega 3

Gli acidi grassi polinsaturi non sono sintetizzati dai tessuti animali. La loro concentrazione nel latte dipende quindi dagli apporti dietetici e dalla resistenza alla bio idrogenazione ruminale delle fonti impiegate (12).

La bio idrogenazione può essere prevenuta attraverso una protezione indotta da particolari trattamenti tecnologici effettuati a carico di alimenti ricchi di Omega 3 o per mezzo di protezioni fisiche di oli ricchi in questi acidi grassi.

Il seme di lino è l'alimento d'elezione (in quest'alimento il C18:3 rappresenta più del 50% del titolo lipidico totale) e il trattamento tecnologico più usato è l'estrusione (13). I risultati di numerose ricer-

Tabella 1 - Composizione in acidi grassi dei principali alimenti usati per razionare le bovine da latte (g/kg/s.s.)

Alimento	Acidi grassi	Acido linoleico	Acido linolenico
Medica erba "matura"	16.3	3.1	8.1
Medica erba "giovane"	22.8	4.3	11.3
Graminacee erba "giovane"	35.0	5.0	10.6
Medica fieno "giovane"	19.3	3.6	7.1
Medica fieno "maturo"	13.4	2.5	5.1
Graminacee fieno	21.7	3.1	6.6
Mais farina	35.0	17.8	0.7
Orzo farina	20.0	11.2	0.9
Sorgo farina	23.0	11.3	0.4
Soia seme integrale	147.0	80.3	14.0
Lino seme	308.0	44.0	166.0

che hanno dimostrato che il tasso di trasferimento dell'acido α -linolenico, usando il lino estruso, non supera in genere il 5-6% rispetto agli apporti. Di sovente, l'uso di seme di lino estruso, specie se in quantità rilevanti (oltre i 200-300 grammi per capo a giorno) in diete relativamente povere di fibra, provoca sensibili flessioni dei tassi lipidici, dimostrabili alla luce delle considerazioni già svolte (Tab. 2).

Un incremento in acidi grassi della serie Omega 3 a più lunga catena è possibile quando la dieta sia addizionata con olii di pesce o alghe, entrambi ricchi di EPA e DHA (4). Anche in questi casi il rischio di flessioni importanti dei titoli di grasso è concreto e l'efficienza di trasferimento al latte è comunque modesta.

Una strategia che, almeno da un punto di vista teorico, consentirebbe di aumentare il tasso di trasferimento senza interferire negativamente con l'attività del microbiota ruminale e penalizzare i titoli di grasso del latte, è rappresentata dalla protezione fisica di substrati (olii di lino e di pesce, alghe, ecc.) con microsferule di materiali inerti per le fermentazioni ruminali, che rendano quindi liberi all'assorbimento intestinale gli acidi grassi. Questa strategia è efficacemente utilizzata per la protezione di diversi nutrienti; tuttavia nel caso delle fonti lipidiche esistono delle difficoltà tecnologiche non irrilevanti, considerato anche il fatto che la maggior parte delle matrici di protezione sono esse stesse di natura lipidica; in effetti, anche

Tabella 2 - Effetti della somministrazione di lino estruso (1.5 kg) nell'alimentazione di bovine da latte (*Formigoni et al., dati non pubblicati*)

Gruppi		Controllo	Seme di Lino	Differenza in % verso il controllo
Latte	kg/capo/d.	26.7	26.2	- 1.7
Grasso	%	4.16	3.90	- 6.3
Grasso	g/capo/d.	1100	1020	- 7.3
Acidi Grassi	g/capo/d.	1026	952	- 7.3
< C14:0	% del totale	32.2	31.5	- 2.1
C16:0	% del totale	35.6	28.5	- 19.9
> C16:0	% del totale	32.2	40.0	+ 24.1
P.to fusione	°C	37.6	36.2	- 3.7

come risulta da nostre indagini, la capacità di bio idrogenazione ruminale è estremamente efficace nel caso in cui la protezione non sia perfetta a ricoprire per intero i substrati utilizzati. Ciò giustifica le numerose difficoltà, peraltro segnalate anche in letteratura, nell'ottenere prodotti affidabili nel garantire la protezione e livelli costanti di arricchimento del latte.

Il pascolo, così come la somministrazione di foraggi freschi, permette di mantenere una migliore assunzione di C18:3, con conseguente trasferimento al latte fino a quattro volte maggiore di quello osservato con alimentazione a base di fieni. In ogni caso, dall'esame dei dati reperibili in bibliografia, sono difficilmente ottenibili valori di C18:3 nel latte superiori all'1%.

Strategie per elevare il contenuto in CLA

I diversi studi che hanno permesso di individuare e raggruppare i fat-

tori in grado di influenzare il contenuto di CLA nel latte, hanno evidenziato un importante effetto individuale dell'animale connesso all'espressione dell'enzima SCD.

Da un punto di vista alimentare, le vie più concrete per elevare il contenuto in CLA sono quelle di utilizzare maggiori quantità di substrati capaci di portare alla formazione di CLA o acido vaccenico nel rumine (14); al contempo, saranno da considerare tutti i fattori in grado di modificare l'attività microbica associata alla bio idrogenazione ruminale.

Considerando le vie di formazione dei CLA, che sono sintetizzati direttamente nel rumine o nella mammella a partire da intermedi del metabolismo lipidico ruminale, appare evidente che la loro concentrazione sarà tanto maggiore quando:

- la razione apporti elevate quantità di lipidi insaturi;
- il trattamento tecnologico cui sono sottoposti gli alimenti "sponga" i lipidi contenuti all'idrolisi e

all'azione saturante dei batteri;

- il transito degli alimenti attraverso il rumine sia veloce.

Queste condizioni si realizzano naturalmente con il consumo di foraggi verdi e giovani (generalmente al pascolo ma anche forniti in stalla); in questi casi, infatti, l'apporto di acidi grassi insaturi delle serie Omega 3 e 6 è relativamente più abbondante che nei foraggi conservati, e la velocità di transito degli alimenti è aumentata rispetto alle razioni che vedono l'impiego di foraggi maturi.

In condizioni di allevamento confinato, l'inclusione nella dieta di semi oleosi ricchi di acido linoleico (soia, girasole e colza), linolenico (semi di lino) e PUFA (oli di pesce), è la più comune delle strategie adottabili per arricchire il contenuto di CLA nel latte (Tabb. 3, 4). L'inclusione di acido linoleico e di PUFA, piuttosto che di linolenico, sarebbe più efficace perché la velocità di bio idrogenazione a carico di questi composti è più lenta e quindi sarebbe maggiore la quantità di "intermedi" che giungono alla mammella.

Problemi aperti

La nutrizione lipidica nella bovina da latte, pur al centro di numerose ricerche e interesse dei ricercatori nel corso degli ultimi decenni, presenta numerose aree che meri-

Tabella 3 - Influenza di diversi fattori alimentari sull'aumento della concentrazione in CLA del latte (14)

Quantità di lipidi addizionati		
Controllo	mg/100 g	0.52
< 2% della s.s.	mg/100 g	0.78
2-2.99 % della s.s.	mg/100 g	0.99
3-3.99% della s.s.	mg/100 g	1.29
>4% della s.s.	mg/100 g	1.93
Qualità dei lipidi addizionati		
Controllo	mg/100 g	0.54
Ricco in 18:1	mg/100 g	0.95
Ricco in 18:2	mg/100 g	1.45
Ricco in 18:3	mg/100 g	1.17
Olio di pesce	mg/100 g	2.19
C16:0+C18:0	mg/100 g	0.71
Forma fisica dei lipidi addizionati		
Controllo	mg/100 g	0.44
Mangimi	mg/100 g	1.74
Olio	mg/100 g	1.78
Saponi	mg/100 g	0.62
Altro	mg/100 g	0.90

Tabella 4 - Effetti dell'inclusione di semi integrali di soia (1 kg/capo/giorno) e di lino estruso (0,4 kg/capo/giorno) sui contenuti di CLA (mg/100 grammi di grasso) del latte di bovine alimentate con razioni a base di fieni di medica e graminacee. (Gli asterischi indicano differenze significative rispetto al controllo) (15)

Settimane dal trattamento	C18:2 cis 9, trans 11	C18:2 trans 10, cis 12	CLA Totali
Controllo	0.29	0.047	0.34
2	0.47*	0.056	0.53
4	0.37	0.049	0.42
6	0.46*	0.041	0.50
8	0.45*	0.046	0.50
10	0.45*	0.044	0.49
13	0.45*	0.039	0.49
15	0.44*	0.047	0.49
17	0.53*	0.045	0.58
19	0.49*	0.055	0.54
21	0.31	0.046	0.36

tano di essere ulteriormente investigate.

Due in particolare appaiono i temi di rilevante interesse scientifico che hanno ricadute operative importanti:

- la messa a punto di sistemi analitici in grado di caratterizzare velocemente e correttamente le frazioni lipidiche degli alimenti utilizzati;
- la definizione di modelli di previsione della disponibilità di acidi grassi per la mammella a fronte di una determinata razione.

Diversi ricercatori hanno studiato e proposto dei modelli che tentano di rispondere al secondo quesito in particolare. I punti critici da risolvere rimangono: le corrette definizioni delle velocità di lipolisi e idrogenazione che avvengono nel rumine per i diversi alimenti, e la definizione delle relazioni esistenti fra nutrizione lipidica e interazione con lo sviluppo e l'attività del microbiota ruminale. In questi modelli, peraltro, a oggi rimane del tutto trascurato il ruolo dei protozoi che sembrano particolarmente coinvolti anche in ciò che riguarda il metabolismo dei lipidi nel rumine.

Considerazioni finali

Il controllo della sintesi mammaria del grasso, in termini quantitativi e qualitativi, è perseguibile attraverso un'appropriata modula-

zione degli apporti glucidici e lipidici; al contempo non è da trascurare l'influenza della modalità con cui sono assunte le razioni da parte dell'animale. In generale appare determinante il controllo delle fermentazioni e dei processi di bioidrogenazione che avvengono nel rumine. Le ricerche svolte nel corso degli ultimi decenni hanno chiarito numerosi aspetti di questi complessi meccanismi, anche se sono ancora molte le conoscenze da acquisire per prevedere e modificare efficientemente le biosintesi mammarie del grasso.

Bibliografia

1. Fredeen AH. Considerations in the nutritional modification of milk composition, *Anim Feed Sci Technol* 1996; 59: 185-97.
2. Jensen RG, Patton S. The effects of maternal diets on the mean melting points of human and milk fatty acids. *Lipids* 2000; 35: 1159-61.
3. Bauman DE, Griinari JM. Nutritional regulation of milk fat synthesis. *Annu Rev Nutr* 2003; 23: 203-27.
4. Chilliard Y, Ferlay A, Mansbridge RM, Doreau M. Ruminant milk fat plasticity: nutritional control of saturated, polyunsaturated, trans and conjugated fatty acids. *Ann Zootech* 2000; 49: 181-205.
5. Moore JH, Christie WW. Lipid metabolism in the mammary gland of ruminant animals, in Christie W.W. (Ed.), *Lipid metabolism in ruminant animals*, Pergamon Press, 1981: 227-77.
6. Dawson RMC, Kemp P. Biohydrogenation of dietary fats in ruminants. In A.T. Phillipson (ed.) *Physiology of digestion and metabolism in the ruminant*, Oriel Press, Newcastle upon Tyne, UK, 1970: 504-18.
7. Jenkins TC, Wallace RJ, Moate PJ, Mosley EE. Board-invited review: Recent advances in biohydrogenation of unsaturated fatty acids within the rumen microbial ecosystem. *J Anim Sci* 2008; 86: 397-412.
8. Chilliard Y, Glasser F, Ferlay A, Bernard L, Rouel J, Doureau M. Duet, rumen biohydrogenation and nutritional quality of cow and goat milk fat. *Eur J Lipid Sci Technol* 2007; 109: 828-55.
9. Lock AL, Bauman DE, Garnsworthy PC. Effect of Production Variables on the Cis-9, Trans-11 Conjugated Linoleic Acid Content of Cows' Milk. *J Dairy Sci* 2005; 88: 2714-7.
10. Palmonari A, Stevenson DM, Mertens DR, Cruywagen CW, Weimer PJ. pH Dynamics and Bacterial Community Composition in the Rumen of Lactating Dairy Cows. *J Dairy Sci* 2010; 93 (1): 279-87.
11. Kim YJ, Liu RH, Rychlik JL, Russell JB. The enrichment of a ruminal bacterium (*Megasphaera elsdenii* YJ-4) that produces the trans-10, cis-12 isomer of conjugated linoleic acid. *J Appl Microbiol* 2002; 24: 976-83.
12. Drackley JK, Klusmeyer TH, Trusk AM, Clark JH. Infusion of long-chain fatty acids varying in saturation and chain length into the abomasums of lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 1992; 75: 1517-26.
13. Caroprese M, Marzano A, Marino R, Gliatta G, Muscio A, Sevi A. Flaxseed supplementation improves fatty acid profile of cow milk. *J Dairy Sci* 2010; 93: 2580-8.
14. Nudda A, Mereu A, Fancellu S, Cappio-Borlino A. Meta-analysis of nutritional effects on conjugated linoleic acid (CLA) in milk fat of dairy cows. *It J Anim Sci* 2007; 6 (Suppl. 1), 330-2.
15. Mordenti AL, Brogna N, Merendi F, Fustini M, Biagi M, Formigoni A. Extruded soybean and flaxseed enhance fat composition of milk for parmigiano-reggiano cheese. Italia. *It J Anim Sci* 2009; 8 (suppl 2): 423-5.