



Sveriges lantbruksuniversitet
Fakulteten för veterinärmedicin och husdjursvetenskap

Genernas påverkan på köttkvaliteten

Louise Ryberg



Examensarbete / SLU, Institutionen för husdjursgenetik,
383
Uppsala 2012

Examensarbete, 15 hp
– Kandidatarbete (Litteraturstudie)
Agronomprogrammet–Husdjur



Sveriges lantbruksuniversitet
Fakulteten för veterinärmedicin och husdjursvetenskap
Institutionen för husdjursgenetik

Genernas påverkan på köttkvaliteten

Genetic effects on meat quality

Louise Ryberg

Handledare:

Anne Lundén, SLU, Institutionen för husdjursgenetik
Karl-Johan Petersson, SLU, Institutionen för husdjursgenetik

Examinator:

Gabriella Lindgren, SLU, Institutionen för husdjursgenetik

Omfattning: 15 hp

Kurstitel: Kandidatarbete i husdjursvetenskap

Kurskod: EX0553

Program: Agronomprogrammet–Husdjur

Nivå: Grund, G2E

Utgivningsort: Uppsala

Utgivningsår: 2012

Omslagsbild: Louise Rydberg

Serienamn, delnr: Examensarbete / SLU, Institutionen för husdjursgenetik, 383

On-line publicering: <http://epsilon.slu.se>

Nyckelord: kött, kvalitet, nöt, boskap, gener, polymorfism, mörhet, marmorering

Key words: meat, quality, beef, bovine, genes, polymorphism, tenderness, marbling

Sammanfattning

Köttkvaliteten kan påverkas på olika ställen i produktionskedjan, där både miljön och generna har effekt på den slutliga kvaliteten. Ett problem för nötköttindustrin idag är att det finns betydande variationer i köttkvaliteten mellan enskilda djur, vilket avspeglas i en ojämn kvalitet hos det kött som i slutänden når konsumenterna. Om konsumenterna inte kan vara säkra på vilken köttkvalitet de köper i butikerna kan förtroendet minska.

Arvet är en bidragande faktor till variation i nötköttets kvalitet. Forskning visar att det finns enskilda gener med effekt på egenskaper som mörhet och marmorering. För att bedriva avel på markörgener för våra svenska köttraser är det viktigt att undersöka vilken effekt generna har för vårt svenska djurmaterial.

Denna litteraturstudie omfattar främst gener som påverkar köttets mörhet och marmorering, där samtliga gener har visat på en eller flera enskilda mutationer i olika studier och populationer. Köttets mörhet påverkas främst av de gener som styr uttrycket av det proteolytiska enzymet calpain och dess inhibitor calpastatin. Köttets mörhet kan också påverkas av proteinet myostatin och av enzymet lysyl oxidas. Köttets marmorering kan påverkas av enzymer med effekt på fettmetabolismen, thyroglobulin, DGAT (acyl-CoA:diacylglyceroltransferas) och leptin. Denna litteraturstudie omfattar även generna *DNAJ1* och *PRKAG1*. Effekten av dessa gener har endast undersökts i fåtal studier.

Abstract

Multiple factors are involved in control of beef sensory quality so great variation can be induced. The perception of meat quality can be affected anywhere in the product chain. Both the environment and the set of genes of the animals have an effect on the final output. A problem facing the beef industry today is the significant variations in meat quality between individual animals, which is reflected in the uneven quality of the meat that reaches the consumer. If the quality of meat in stores varies significantly over time, the consumers' trust may decrease.

Heritage is a contributing factor to the variation in the quality of beef. Research shows that there are single genes with effects on properties such as tenderness and marbling. To carry on the breeding of marker genes for our Swedish beef breeds, it is important to examine the impact genes have on our Swedish animal material.

This study mainly includes genes affecting meat tenderness and marbling, which have all been associated with one or several specific mutations in various studies and populations. Beef tenderness is mainly influenced by the genes that control the expression of the proteolytic enzyme calpain and its inhibitor calpastatin. Meat tenderness can also be affected by the protein myostatin and the enzyme lysyl oxidase. The meat marbling can be influenced by enzymes affecting fat metabolism, thyroglobulin, DGAT (acyl CoA: diacylglyceroltransferas) and leptin. This study also includes genes *PRKAG1* and *DNAJ1*. The effects of these genes have only been investigated in few studies.

Introduktion

De vanligaste köttrasererna i Sverige idag är Charolais, Hereford, Simmental, Highland Cattle, Limousin, Aberdeen Angus och Blond d'Aquitaine och de vanligaste mjölkkraserna är svensk

rödbrokg boskap (SRB) och Svensk Holstein (tidigare SLB). I Sverige svarar kötttraserna för 35 % av den totala nötköttsproduktionen, mjölkorna står för 25 % och resterande del av nötköttet kommer från ungdjur av mjölkra och köttaskorsningar (Svenskt kött, 2012).

Köttets sensoriska kvalitet (mörhet, saftighet, smak och färg) är viktigt för nötköttsproducenter och återförsäljare för att tillgodose konsumenternas preferenser. Köttets kvalitet påverkas av flera faktorer såsom ras, genotyp, kön, ålder, foder, skötsel, slaktvikt samt tekniska faktorer (slaktmetod och hantering av köttet efter slakt, t.ex. tillagning). Köttkvaliteten kan följaktligen påverkas på olika ställen i produktionskedjan, från den genuppsättning kalven ärver till temperaturen i stekpannan. Sammantaget leder detta till att slaktkropparnas kvalitet varierar mycket, liksom egenskaperna hos det kött som i slutändan når konsumenterna (Bernard et al., 2007). En stor del av nötköttet säljs under samma kategori och prisklass utan att ta hänsyn till nämnda variationer, vilket gör att konsumenterna idag inte kan vara säkra på vilken köttkvalitet de köper i butikerna. Mörhet är ett av de viktigaste kvalitetskraven för nötköttskonsumenterna (Lusk et al., 1999; Koohmaraie & Geesink, 2006). I en undersökning visar Lusk et al. (1999) att konsumenterna är villiga att betala mer för att garanteras ett mörare kött. En norsk studie visar att konsumenterna är villiga att betala 50 % mer för en mycket mör biff och 25 % mer för en mör biff i jämförelse med en mindre mör biff (Alfnes et al., 2005).

Trots ansträngningar inom köttindustrin och användning av olika metoder för att maximera slaktkropparnas kvalitetegenskaper finns fortfarande stora variationer i köttkvaliteten (Maltin et al., 2003). Undersökningar har visat att även om de miljömässiga förhållandena är lika skiljer sig ändå köttets kvalitet, vilket delvis kan förklaras med genetiska faktorer. Djurets genotyp påverkar de biologiska egenskaperna hos muskler (fibertyp, intramuskulär fettvävnad, kollagen, proteasaktivitet, etc.), vilket i sin tur reglerar bland annat mörhet och smak (Bernard et al., 2007).

Den svenska köttproduktionen påverkas kraftigt av konkurrens från importerat kött. Om det svenska köttet ska kunna stå sig i konkurrensen måste konsumenten kunna lita på att svenskt kött står för hög och jämn kvalitet. Om konsumenterna inte kan garanteras detta kan förtroendet för svenskt kött minska och därmed påverkas efterfrågan (se översiktsartikel av Leveau, 2008). För att producera kött med hög kvalitet måste det finnas kunskap om vilka faktorer som påverkar kvaliteten för att minimera variationen (Warner et al., 2010).

Litteraturstudiens syfte är att beskriva genotypens påverkan på köttets sensoriska kvalitet hos nöt. Hur stor inverkan har enskilda gener (s.k. major genes) på köttkvaliteten? Litteraturstudien omfattar främst "major genes" som påverkar köttets mörhet och marmorering. Identifiering av genetiska markörer som kan påverka köttets kvalitet ger urvalskriterier för att underlätta förbättringar i dessa egenskaper. Sökandet efter genetiska markörer/"major genes" sker idag med hjälp av "Genome Wide Association Studies" (GWAS) som utnyttjar den nya generationens markörer, "Single Nucleotide Polymorphisms" (SNPs). Idag används dock genetisk information i avelsarbetet utan att gå omvägen runt identifiering av "major genes", s.k. "Genomisk Selektion" (GS). Denna litteraturstudie fokuserar på "major genes".

Köttkvalitet

Köttkvalitet är en generell term som innefattar egenskaper som slaktkroppsutbyte och klassning, sensorisk kvalitet, hälsoproblem associerade till kött (kontaminerat kött etc.) och

produktionsrelaterade problem inklusive djurvälstånd och miljöpåverkan (Maltin et al., 2003). Åsikter om vad köttkvalitet betyder skiljer sig mycket beroende på människors kulturella bakgrund, erfarenheter och var i produktionskedjan de befinner sig (Warriss, 2000). Köttproducenten, livsmedelsindustrin och konsumenten har olika syn på köttkvalitet (Killinger et al., 2004). Konsumenternas önskemål är kött av hög och jämn kvalitet (Warriss, 2000). Ett problem för köttindustrin är att det finns betydande variationer i den sensoriska köttkvaliteten, vilket i sin tur minskar konsumenternas förtroende (Maltin et al., 2001). För att minimera variationen är det viktigt att köttindustrin tar hänsyn till faktorer så som uppfödningens intensitet, slaktprocess och mörningstid (Warriss, 2000).

Nötköttindustrin har även utvecklat ett antal kvalitetskoncept. Den första kvalitetsmärkningen, Certified Angus Beef (CAB), introducerades på sent 1970-tal i USA (Koochmarai & Geesink, 2006). De traditionella systemen som bygger på bedömning av hela slaktkroppen är dock mindre effektiva vid uppskattning av köttets sensoriska egenskaper. System från bland annat USA använder marmorering som ett kvalitetsmått. Marmorering förklarar dock högst 5 % av variationer i nötköttets mörhet (Wheeler et al., 1994). Ett betygssystem som syftar på köttets sensoriska kvalitet har utvecklats av Meat Standards Australia (MSA). MSA är baserat på kritiska kontrollpunkter för köttets sensoriska egenskaper, olika styckningsdelar graderas från produktion till förädling och konsumtion. I Australien har MSA genererat betydande premier till återförsäljare, grossister och till producenter (Polkinghorne et al., 1999).

Till följd av den rådande variationen i kvaliteten hos nötkött investerar nötköttindustrin i forskning som syftar till att identifiera genetiska markörer för förbättrad köttkvalitet samt öka förståelsen för muskelns biologiska egenskaper (Hocquette et al., 2007). Avancerade metoder för DNA-sekvenseringen av genomet från många arter har utarbetats och har även gjort det möjligt att jämföra DNA från olika individer i en art (Hocquette, 2005). SNPs är den mest frekventa form av DNA-variation hos däggdjur. Det är relativt enkelt att upptäcka SNPs genom automatiserade tekniker. Kunskap om arvsmassan hos nöt är till nytta för både jordbruket och människors hälsa. Inom nötköttsektorn kommer detta bidra till en snabbare identifiering av genetiska markörer som är användbara vid avelsarbete för att förbättra köttkvaliteten (Hocquette et al., 2007). Fram till ganska nyligen har man varit hänvisad till att avla för polymorfism i ett fåtal gener (så kallade kandidatgener) med påvisad koppling till mörhet och marmorering hos nötkött (Barendse et al., 2004).

Muskler blir kött

Efter slakt (*post mortem*) sker en rad biokemiska förändringar i muskeln som har stor inverkan på köttets slutliga kvalitet. Vid *post mortem* försöker musklerna upprätthålla homeostas, ATP bildas från glykogenet i musklerna via anaerob metabolism. Anaerob glykolys genererar laktat, vilket sänker den intracellulära pH-nivån i musklerna. När nivån ATP reduceras och nivån Ca^{2+} stiger inträffar *rigor mortis*, likstelhet (Maltin et al., 2003). Vid *rigor mortis* bildas tvärbindingar mellan myosin och aktin, vilket innebär att muskeln blir stel. Aktomyosin bildas och bindingen förblir permanent. Efter en tid avtar *rigor mortis* till följd av enzymatiska reaktioner som spjälkar muskelproteinerna. Förändringen som sker i myofibrillerna påverkar främst köttets mörhetsutveckling. Utvecklingen av *rigor mortis* påverkas också av olika typer muskelfibrer. Bindvävskomponenter som kollagen påverkas i mindre utstäckning av de proteolytiska enzymerna. Nötkött uppnår 80 % av maximal mörhet 10 dagar efter slakt. Även temperaturen har betydelse för mörhetsutvecklingen, vid högre

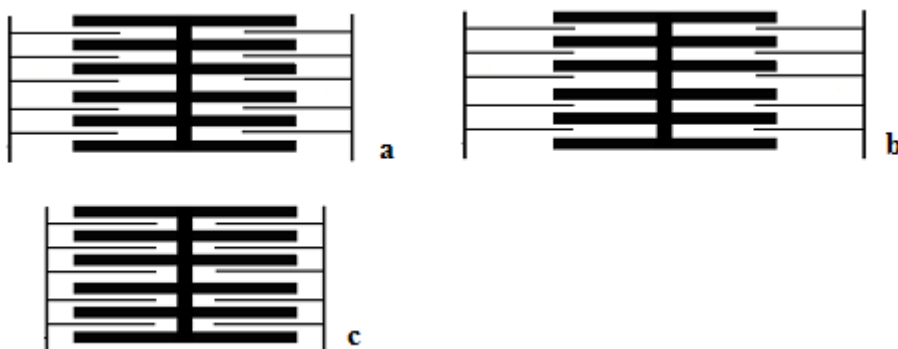
temperatur går utvecklingen fortare. Nötkreatur har en stor andel röda muskelfibrer, vilket förlänger utvecklingen av *rigor mortis* (Warriss, 2000).

Köttets pH

Hos nötkreatur sjunker normalt pH-värdet i musklerna från 7.2 till ca 5.5 *post mortem*. Det ultimata pH (pHu) varierar mellan olika muskler. pH-sänkningens hastighet och pHu är av betydande konsekvens för köttkvaliteten. Efter ca 15-36 timmar avtar pH-sänkningen, då enzymsystemet som omvandlar glykogen till laktat inte längre fungerar på grund av för låg pH-nivå. När *rigor mortis* inträder beror främst på glykogenhalten i musklerna vid slakt. (Warriss, 2000). Djur som varit stressade under en längre tid innan slakt har lägre glykogenhalt än normalt vilket resulterar i ett kött med högt pH (>6.5). Detta problem benämns DFD (dark, firm, dry), köttet blir således mörkare, hårdare och torrare (Maltin et al., 2003). Om pH sänkningen däremot sker snabbt efter slakt uppstår PSE (Pale, Soft, Exudative). PSE uppstår om djuren utsätts för stress precis innan slakt, vilket leder till accelererad glykolys *post mortem*. PSE ger ett blekt, mjukt och vätskande kött. Muskelproteinerna denaturerar vid ett lågt pH, vilket försämrar förmågan att binda vatten (Warriss, 2000).

Mörhet

Köttets mörhet påverkas av många faktorer som inkluderar genotyp, produktionshistoria, slaktprocess och tillagningsmetod, vilket ökar svårigheten att lokalisera ett kvantitativ trait loci (QTL) för mörhet (Oddy et al., 2001). QTL är genomisk region som påverkar kvantitativa egenskaper. (Mullen et al., 2006). Mörheten i en muskel påverkas främst av bindvävsinnehållet och dess uppbyggnad, sarkomerens längd (se figur 1) och kontraktion vid *rigor mortis* samt proteolysen av myofibrillära proteiner *post mortem* (Koochmaraie & Geesink, 2006). Intramuskulärt fett påverkar indirekt köttets mörhet (Warner et al., 2010), vilket tas upp senare i denna studie i stycket om köttets marmorering.



Figur 1. Schematisk bild av en sarkomer i avslappnat (a), sträckt (b) och ihopdraget (c) tillstånd. De tjocka filamenten (aktin) och de tunna filamenten (myosin) visar på olika grad överlappning vid kontraktion. Bild (c) illustrerar utseendet vid *rigor mortis* och är ett irreversibelt tillstånd som ger ett segt kött medan (b) är vad man vill uppnå genom att hänga slaktkroppen innan *rigor mortis* inträder.

Bindvävens struktur och kemiska sammansättning skiljer sig mellan muskler vilket bidrar till variationer i mörheten (Koochmaraie & Geesink, 2006). En större andel bindväv bidrar till ett segare kött (Harper, 1999). Mängden bindväv återspeglar musklernas funktion i det levande djuret. Kraftfulla muskelgrupper som används för rörelse innehåller en större andel bindväv

medan muskler runt ryggraden har mindre andel bindväv (Hedrick et al., 1994). Bindväven får sin stabila struktur av tvärbindingar mellan kollagenmolekylerna (Harper, 1999). Tvärbindingar mellan kollagen och elastin initieras genom enzymet lysyl oxidas (Kuypers & Kurth, 1995). Mörheten minskar med åldern, då tvärbindingarna hos äldre djur blir mer stabila samtidigt som diametern av kollagenfibrillerna ökar (Harper, 1999). Slaktkropparna hos mjölkkraser har förhållandevis större andel muskler och mindre andel fett jämfört med kötttraser, mätt vid samma ålder. Köttet från kvigor och stutar är i allmänhet mörare än från tjurar (Warriss, 2000).

Ett stort antal studier visar att mörhetsutvecklingen *post mortem* hos nöt främst påverkas av enzymet calpain och dess inhibitor calpastatin (Page et al., 2004; Koohmaraie & Geesink, 2006). Köttets mörhet kan också påverkas av proteinet myostatin (Harper, 1999; Warner et al., 2010) och av enzymet lysyl oxidas (Kuypers & Kurth, 1995).

Calpain och calpastatin

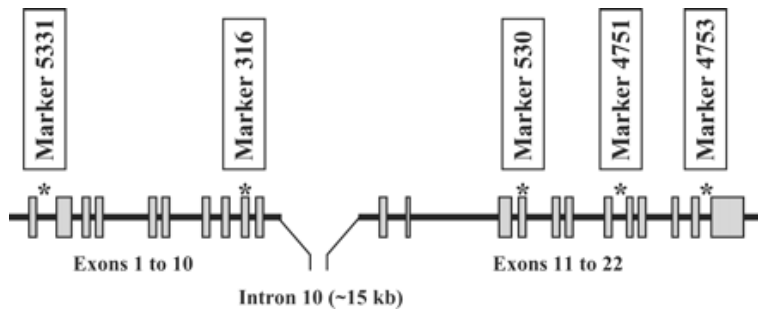
Forskning visar att enzymer involverade i det s.k. calpainsystemet påverkar proteinnedbrytningen *post mortem* och därigenom den naturliga mörningen av kött efter slakt. I skelettmuskeln består calpainsystemet av minst tre proteaser, μ -calpain, m-calpain och calpain 3. Calpastatin, som inhiberar μ - och m-calpain, är också viktig för mörhetsutvecklingen. Flertal studier visar dock att m-calpain och calpain 3 inte är delaktiga i proteinnedbrytningen *post mortem* (Koohmaraie & Geesink 2006). I en studie med knockoutmöss visade Geesink et al. (2006) att μ -calpain hade den största inverkan på köttets mörhet *post mortem*. Proteaserna μ -calpain och m-calpain är namngivna efter deras behov av kalciumjoner (Ca^{2+}) för att bli aktiva. Med en kalciumkoncentration på omkring 1-2 mM aktiveras m-calpain. Vid lägre koncentration av kalciumjoner (50-100 μM) så aktiveras främst enzymet μ -calpain (Goll et al., 2003).

Enzymet μ -calpain påverkar proteinerna i sarkomeren, vilket gör myofibrillstrukturen instabil och lösligare. I en levande cell inhiberar calpastatin aktiviteten hos μ -calpain genom att binda till enzymet (Goll et al., 2003). Vid *rigor mortis* stiger nivån Ca^{2+} i sarkomeren, calpastatin släpper bindningen till calpain och det proteolytiska enzymet blir aktivt (Warriss, 2000).

Kött från *Bos Indicus* tenderar att vara mindre mört än kött från europeiska raser (*Bos Taurus*). Bidragande orsak är att den proteolytiska nedbrytningen av de myofibrillära proteinerna efter slakt är lägre hos kött från *Bos Indicus* på grund av skillnader i aktiviteten av calpain och calpastatin (Warriss, 2000).

Polymorfism hos calpaingenen

Genen *Micromolar calcium-activated neutral protease (CAPN1)* kodar för μ -calpain och är lokaliserad till kromosom 29 hos nöt. Page et al. (2002) utvärderade två SNPs hos genen *CAPN1* lokaliserade i exon 9 och 14 hos nöt (figur 2). *CAPN1* innehåller flera mutationer som är kopplade till variation i mörhet (Page et al., 2004; White et al., 2005). Page et al. (2004) visade i sin studie att genvarianter som visat samband med mörhet finns presenterade i de mest förekommande raserna av *Bos Taurus*.



Figur 2. SNP markörer hos *CAPNI* (Från White et al., 2005).

Polymorfism i calpastatingenen

Calpastatin genen *CAST* kodar för enzymet som inhiberar calpain och är lokaliserad till kromosom 7 hos nöt. *CAST* innehåller mutationer som visat samband med mörhet (Drinkwater et al., 2006; Schenkel et al., 2006). Det finns även tidigare studier där samband mellan *CAST* och mörhet inte har observerats (Lonergan et al., 1995).

Myostatin

”Dubbelmuskler” hos nöt är resultat av en mutation hos genen som inaktiverar myostatin. Myostatin är ett protein, tillhörande familjen transforming growth factor β (TGF- β), som verkar tillväxthämmande på muskelvävnad. Mutationen leder till en ökning av muskelfibrernas antal (hyperplasi) samtidigt som det leder till muskelhypertrofi (förstörade muskler) (Maltin et al., 2001). Nöt som är heterozygota för anlaget har 7 % mer muskelmassa jämfört med djur som saknar inaktivering av myostatin. Nöt som är homozygota för anlaget har 20 % mer muskelmassa. Subpopulationer hos Belgian Blue och Piedmontese som är speciellt framavlade för köttproduktion är homozygota för anlaget (Kambadur et al., 1997; Bellinge et al., 2004).

Polymorfism i myostatingenen

Mutationer i myostatingenen (*MSTN* eller *GDF8*), som är lokaliserad till kromosom 2 hos nöt, har dokumenterats förändra muskelstrukturen (Warner et al., 2010). Kött från nöt som är bärare av mutationen som orsakar muskelhypertrofi anses som mörare men mindre saftigt (Wheeler et al., 2001).

Övriga gener som kan påverka mörheten

Genen *LOX* som kodar för enzymet lysyl oxidas, som likt calpastatin är lokaliserad till kromosom 7 hos nöt, har visat samband med mörhet (Kuypers & Kurth 1995).

Genen *DNAJAI* kodar för ett värmechockprotein, Hsp40. Proteinet tros ha betydelse för proteinveckningen, mitokondriell proteinimport och apoptos (programmerad celledöd). Detta protein skulle kunna vara involverad i köttets åldrande *post mortem*. I en studie med Charolaistjurar visade lägre uttryck av genen *DNAJAI* samband med mörare kött. I studien konstaterades en stark negativ korrelation mellan genen *DNAJAI* och försämrade mörhet hos Charolaistjurarna, där *DNAJAI* förklarade upp till 63 % av variationen i mörhet. Således kan *DNAJAI* utgöra en ny markör för nötköttets sensoriska kvalitet (Bernard et al., 2007).

Marmorering

Marmorering är relaterat till mängd intracellulärt fett (IMF) eller fettvävnad, vilket är det fett som ligger mellan perimysium (bindvävshinnan) runt varje muskelfiber (Warner et al., 2010). Hocquette et al. (2010) påvisar i sin studie att IMF har direkt effekt på saftighet och smak, medan köttets mörhet påverkas indirekt. IMF separerar och försvagar perimysiala kollagenet och löser upp bindvävsstrukturen, vilket ökar mörheten (Hocquette et al., 2010).

Andel IMF ökar med stigande ålder, äldre djur har en större andel IMF. Förutom ålder skiljer sig mängden IMF mellan olika raser, kön, muskeltyp, utfodringsintensitet och muskeltillväxt. Djur med hög muskeltillväxt (tjurar) har mindre IMF och stutar har mer (Hocquette et al., 2010). Kvigor tenderar att vara fetare (Warris, 2000). Vid samma ålder har sent slaktmogna raser som Limousin, Simmental och Charolais en mindre andel fett än tidigt slaktmogna raser som Angus och Herford (Wheeler et al., 2005). Mängden IMF har visat sig ha betydelse för konsumenternas val när kött med samma mörhet jämfördes. I en forskningsstudie föredrog amerikanska konsumenter ett kött med större andel IMF eftersom saftighet, smak och helhetsintrycket blev positivt (Killinger et al., 2004). Det är inte klarlagt om svenskarnas preferenser är desamma, eller om man i butiken väljer kött med mindre synligt fett.

Gener som bär på alleler med eventuell inblandning i marmoreringsprocessen är de som kodar för enzymer med direkt effekt på fettmetabolismen; Acyl-CoA: diacylglyceroltransferas (DGAT) (Thaller et al., 2003) och Thyroglobulin (TG) (Barendse et al., 2004). Köttets marmorering kan också påverkas av proteinet leptin (Buchanan et al., 2002)

DGAT

DGAT är ett enzym som katalyserar sista steget i syntesen av triglycerider (TAG) (Grisart et al., 2002). Sorensen et al. (2006) undersökte sambandet mellan enzymet DGAT och fetthalten i musklerna *longissimus dorsi* (ryggbiffen) och *semitendinosus* (den s.k. rullen, en mindre mör muskel) hos Holsteintjurar och Charolaistjurar. Holstein uppvisade högre fetthalt i båda musklerna och högre marmoreringspoäng, samtidigt som aktiviteten för enzymet DGAT var högre i dessa muskler än hos Charolaistjurarna.

Polymorfism i DGAT1-genen

Genen *Acyl-CoA: diacylglycerol (DGAT1)* finns på kromosom 14 hos nöt. *DGAT1* har visat sig påverka mjölkens avkastning och sammansättning (Grisart et al., 2002). Mutation hos genen *DGAT1* har även visat samband med mängden intramuskulärt fett hos nöt (Thaller et al., 2003).

Leptin

Leptin är ett peptidhormon som bildas i fettcellerna och utsöndras i blodet. Halten leptin i blodplasman är högre ju fler fettceller som finns i kroppen. Receptorer i hjärnan känner av höga halter leptin i blodet vilket resulterar i minskad aptit och ökad metabolism (Baile et al., 2000). Leptin verkar vara en viktig återkopplingssignal för metabola regulatorer inklusive insulin, glukokortikoider och det sympatiska nervsystemet (Houseknecht et al., 1998). Dessa fysiologiska egenskaper ger stöd om att leptin är en kandidatgen där genetisk polymorfism kan påverka slaktkroppens fetthalt hos nöt (Buchanan et al., 2002).

Polymorfism i leptingenen

Det finns flera kända mutationer i leptingenen associerade till fetthalten hos nöt (Buchanan et al., 2002). I en studie av Schenkel et al. (2005) med över 1100 korsningsdjur undersöktes och jämfördes fem mutationer i leptingenen avseende slaktkropps- och köttkvalitetssegenskaper. De olika mutationerna i leptingenen visade varierande samband med köttmängd, fettutbyte och mörhet hos nöt. Skillnad i fettansättningen hos tidigt slaktmogna raser (Angus och Hereford) och sent slaktmogna raser (Charolais och Simmental) har kunnat härledas till mutation i leptingenen (Gregory et al., 1994).

Thyreoglobulin (TG)

Thyreoglobulin är ett protein som bildas i sköldkörtelns folliklar (thyroidea) och är involverade i bildandet av fettceller. Thyreoglobulin är försubstans för hormonerna trijodtyronin och tyroxin. Sköldkörtelhormonerna har en betydande funktion vid regleringen av metabolismen och kan påverka fettcellernas tillväxt, differentiering och fettdepåernas homeostas (Ailhaud et al., 1992).

Polymorfism i TG genen

Genen som kodar för TG finns på kromosom 14 hos nöt. Samband mellan variation i TG-genen och köttets marmorering har bland annat konstaterats hos Angus och Shorthorn (Barendse et al., 2004). Polymorfism i genen TG hos Tysk Holstein och Charolais har visat på signifikant effekt på andelen fett i muskeln *longissimus dorsi* (Thaller et al., 2003).

Saftighet, smak och färg

För konsumenterna är köttets färg en viktig kvalitetsparameter, då varken mörhet, saftighet eller smak är synliga attribut i butiken (Oddy et al., 2001). Nötköttets färg beror främst på två proteiner: myoglobin (muskels pigment) och hemoglobin (blodets pigment). Koncentrationen myoglobin varierar beroende på ras, ålder, kön, typ av muskel och fysisk aktivitet (Hedrick et al., 1994).

IMF ökar köttets saftighet genom att agera som en barriär mot den vätskeförlust som sker vid tillagning. Saftigheten i köttet har också betydelse för köttets smaklighet (Hedrick et al., 1994). Faktorer som påverkar mikrostrukturen hos muskeln *post mortem* påverkar också färg och vattenhållande förmågan (waterholding capacity, WHC). WHC är en viktig faktor eftersom det håller kvar vattnet i rått och värmebehandlat kött och minskar avdunstning, så att köttet inte blir torrt (Warriss, 2000).

Köttets smak bestäms av intramuskulärt fett och dess fettsyrasammansättning medan lipidoxidation är ansvarig för lukter som beskrivs som härsken (Bernard et al., 2007). Vattenlösliga ämnen ger köttet dess karakteristiska smak medan fettlösliga, flyktiga ämnen ger kött dess artspecifika smak (Hedrick et al., 1994).

Det är en mindre variation i saftighet och smak hos nötkött medan det är en förhållandevis större variation i mörhet. Den observerade variationen i den sensoriska kvaliteten orsakas därför främst av variation i köttets mörhet (Koochmaraie et al., 2002).

PRKAG1-genen

Genen *PRKAG1* kodar för ett protein involverad i fettsyrametabolismen. *PRKAG1* deltar i regleringen av fettsyrasyntesen genom fosforylering av enzymet acetyl-CoA karboxylas och har stor betydelse av regleringen av uttrycket för gener involverade i glukosmetabolismen (Bernard et al., 2007). Karakterisering av *PRKAG1* hos nöt har precis påbörjats, om det finns en variation i genen och om den i så fall påverkar nötköttkvaliteten är ännu inte kartlagt (Bernard et al., 2007). Studier på gris visar att en dominant mutation i genen *PRKAG3* (känd som RN-genen) leder till en högre glykogenhalt i skelettmuskeln än normalt vid slakt, högre mjölksyraproduktion, lägre pHu, reducerad vattenhållningsförmåga samt negativ inverkan på köttets slutliga kvalitet (Milian et al., 2000).

Arvbarhet

En sammanställning av arvbarheten hos ett antal egenskaper som är relaterade till köttkvalitet visas i tabell 1. Mörheten är mätt med smakpanel och med Warner Bratzler Shear Force (WBSF). WBSF är en objektiv mätmetod för bestämning av köttets mörhet baserat på skärmotstånd (Warriss, 2000).

Tabell 1. Arvbarheten hos ett antal köttkvalitetsegenskaper

Egenskap	Arvbarhet (h ²)	Ras	Antal djur	Kön ¹	Referens
WBSF ²	0.53	Clay Center A ³	555	S	Shackelford et al. (1994)
	0.16	Clay Center B ⁴	568	S	Wheeler et al. (2004)
	0.34	Angus	661	S	Minick et al. (2004)
	0.43	Charolais	689	S, K	Minick et al. (2004)
Marmorering	0.25	Angus	661	S	Minick et al. (2004)
	0.22	Charolais	689	S, K	Minick et al. (2004)
	0.35	Clay Center B	568	S	Wheeler et al. (2004)
Mörhet smakpanel	0.25	Clay Center B	568	S	Wheeler et al. (2004)
Calpastatinaktivitet ⁵	0.65	Clay Center A	555	S	Shackelford et al. (1994)
Saftighet	0.24	Clay Center B	568	S	Wheeler et al. (2004)

¹S=stut, K=Kviga

² WBSF (Warner Bratzler Shear Force), objektiv mätmetod av köttets skärmotstånd.

³ Clay Center A GPU (n=404) bestod av renrasiga djur: Angus [A], Braunvieh [B], Charolais [C], Gelbvieh [G], Hereford [H], Limousin [L], Pinzgauer [P], Red poll [RP], Simmental [S], och tre kombinerade populationer, MARC I [¼ C, ¼ B, ¼ L, ¼ A], MARC II [¼ S, ¼ G, ¼ H, ¼ A], MARC III [¼ RP, ¼ H, ¼ P, ¼ A]. GPE (n=151) bestod av F₁ korsningar: H eller A mödrar × H, A, C, G, P, Galloway, Longhorn, Nellore, Piedmontese, Salers, Shorthorn tjurar.

⁴ Clay Center B bestod av korsningsdjur av Angus, Hereford, SRB, Friesian och Wagyu.

⁵ Calpastatinaktiviteten mättes mellan 18 och 24 h *post mortem* i muskeln *longissimus dorsi*.

Wheeler et al. (2004) fann att arvbarheten för marmorering var medelhög ($h^2=0.35$), vilket inte skiljer sig avsevärt från liknande studiers resultat ($h^2=0.22$ och 0.25) (se tabell 1). Arvbarheten för mörheten, som mättes med WBSF och smakpanel, var låg till medelhög. Tidigare resultat från Shackelford et al. (1994) visar på högre resultat för mörhet mätt med WBSF ($h^2=0.53$). Minick et al. (2004) fann i sin studie att arvbarheten för WBSF hos Angus och Charolais var högre än för Simmental och Hereford. Arvbarheten för köttets saftighet var medelhög ($h^2=0.24$) (Wheeler et al., 2004), vilket var högre än tidigare resultat (Wheeler et al., 2001). Shackelford et al. (1994) fann att arvbarheten för calpastatin var hög ($h^2=0.65$).

Diskussion och slutsats

Som tidigare nämnt kan köttkvaliteten påverkas på olika ställen i produktionskedjan, från den genuppsättning kalven ärver till hur köttet tillagas, där både miljön och generna har effekt på den slutliga kvaliteten (Bernard et al., 2007). Arvet är en bidragande faktor till variation där framförallt egenskaper som köttets mörhet och marmorering är föremål för intensiv forskning. Att avla för högre köttkvalitet är utan mening om inte alla faktorer i produktionskedjan beaktas. Kött från ett djur med bra gener går förlorat om till exempel inte mörningen efter slakt sker på rätt sätt. Arvbarheten i denna studie undersöktes under olika miljöförhållanden, men samtliga skattade arvbarheter för egenskaperna var dock tillräckligt höga för att man ska kunna använda dem i avelsarbete. IMF påverkas inte i samma utsträckning av miljömässiga faktorer som mörhet, därför borde man med framgång kunna inkludera IMF i klassificeringen av slaktkroppar i fler länder. Mängden IMF ingår idag i klassificeringssystem i bland annat Kanada och USA, där marmoreringsgraden skattas genom att bedöma mängden IMF i ett tvärsnitt av muskeln *longissimus dorsi*, på det ställe där slaktkroppen delas i fram- och bakdel. De producenter som levererar djur med högre marmoreringsgrad får bättre betalt (Polkinghorne et al., 2010).

Vilken ras som ger kött av högsta kvalitet är svårt att säga. Variationer i köttkvaliteten finns både mellan och inom raser. Däremot är det viktigt med en helhetssyn vid val av produktionsdjur. Förutom de egenskaper som påverkar köttkvaliteten ska andra kvalitetsparametrar som är viktiga för produktionen vägas in. Var ras har sina förutsättningar och det är viktigt att anpassa produktionen efter den valda rasen för att uppnå god köttkvalitet. Genetiska skillnader mellan *Bos Indicus* och *Bos Taurus* har konstaterats, där kött från europeiska raser tenderar att vara mörare. Skillnaden beror delvis på aktiviteten av enzymerna calpain och calpastatin (Warris, 2000). Studier visar även på skillnad i fettansättning hos sent och tidigt slaktmogna nötköttraser, där mutation hos leptinogenen bidrog till variation (Gregory et al., 1992).

Då mörhet är en betydande kvalitetsparameter för konsumenterna är det viktigt att köttindustrin fortsätter utveckla metoder för att erbjuda en jämn och hög kvalitet. Köttindustrin skulle gynnas av att utveckla sina kunskaper om calpainsystemet. Mätning av balansen mellan enzymerna skulle kunna förutsäga om en köttbit kommer bli mör eller seg under kylförvaringen. På så sätt kan kött som har sämre förutsättning att bli mör sorteras ut och användas till charkprodukter som färs och korv, för att undvika missnöje hos kunderna som köper hela filéer eller stekar. Som konsument kan man utnyttja kunskaper om mörningsprocessen vid inköp av kött. Om köttet vacuumförpackas fortsätter mörningsprocessen och uppnår 80 % av maximal mörhet 10 dagar efter slakt (Warriss, 2000). Att köpa kött i lufttät förpackning närmare bäst-före-datumet kan därför vara positivt ut mörhetssynpunkt, då enzymet calpain fått jobba några fler dagar. Shackelford et al. (1994)

visade i sin studie att arvbarheten för calpastatin vad hög, därför borde man med framgång kunna avla för mörare kött.

Eftersom en genvariant uttrycks olika i olika miljöer och populationer är det inte givet att en genvariant har samma effekt i utländska populationer som på våra svenska nötköttsraser. Det är viktigt att inte förutsätta att utländska resultat gäller direkt i svenska populationer. För att bedriva avel på markörgener för våra svenska köttraser är det viktigt att undersöka vilken effekt generna har för vårt svenska djurmaterial. Det är också ytterst viktigt att undersöka sambandet (korrelationer) mellan markörgener som är associerade med god köttkvalitet och andra avelsmål. Det är viktigt att produktionsegenskaper så som tillväxt, fertilitet, foderomvandlingsförmåga, kalvningsförmåga etc. inte påverkas negativt. Subpopulationer hos Belgian Blue är främst framavlade för högre tillväxt och större köttutbyte. Till följd får man negativa konsekvenser som försämrad fertilitet och svåra kalvningar (Kambadur et al., 1997). Vid avelsarbete måste man ta hänsyn till många aspekter, bland annat djurens välfärd. Denna studie har tagit upp sensorisk kvalitet, och inte kvalitet ur andra aspektet. Ett marmorert kött har ju en större andel fett. Att avla för bättre sensorisk kvalitet, hur påverkar det människans hälsa?

Importerat kött ökar i svenska butiker, främst på grund av att det säljs till ett lägre pris än svenskt kött samtidigt som det bland många konsumenter anses hålla en högre och jämnare kvalitet än svenskt kött. Att producera för både hög ekonomisk avkastning och för kundens ökade krav på köttkvalitet kräver en allt högre kunskap hos producenten. Rätt avel kan förbättra ätkvaliteten på nötkött både internationellt och i Sverige. Idag är köttkvalitet inte betalningsgrundande i Sverige för producenten men i framtiden kan det komma att påverka klassificeringen genom användning av olika instrument. Att inkludera egenskaper som mörhet och marmorering i avelmålet för svenska nötköttsraser skulle höja statusen för svenskt kött och göra det attraktivare i jämförelse med importerat kött.

Forskning visar att det finns kandidatgener med signifikant effekt på nötköttets sensoriska egenskaper. Samtliga gener i denna litteraturstudie har visat på en eller flera enskilda mutationer i olika studier. Det är framförallt gener som påverkar köttets marmorering och gener som styr mörhetsutvecklingen *post mortem* som visat tydligast samband med variationer i köttkvaliteten.

Referenser

- Ailhaud, G., Grimaldi, P., Negrel, R. 1992. Cellular and molecular aspects of adipose tissue development. *Annual Review of Nutrition* 12, 207–233.
- Alfnes, F., Rickerten, K., Ueland, O. 2005. Experimental evidence of risk aversion in consumer markets: the case of beef tenderness. In *Proceeding of the 11th international congress of European association of agricultural economists*. 1-12.
- Baile, C. A., Della-Fera, M. A., Martin, R. J. 2000. Regulation of metabolism and body fat mass by leptin. *Annual Review of Nutrition* 20, 105–127.
- Barendse, W., Bunch, R., Thomas, M., Armitage, S., Baud, S., Donaldson, N. 2004. The TG5 thyroglobulin gene test for a marbling quantitative trait loci evaluated in feedlot cattle. *Australian Journal Experimental Agriculture* 44, 669-674.
- Bellinge, R. H. S., Liberles, D. A., Iaschi, S. P. A., O'Brien, P. A., & Kay, G. K. 2004. Myostatin and its implications on animal breeding: A review. *Animal Genetics* 36, 1–6.

- Bernard, C., Cassar-Malek, I., Le Cunff, M., Dubroeuq, H., Renard, G. and Hocquette, J.F. 2007. New indicators of beef sensory quality revealed by expression of specific genes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 55, 5229-5237
- Buchanan, F.C., Fitzsimmons, C.J., Van Kessel, A.G., Thue, TD., Winkelman-Sim, D.C. and Schmutz, S.M. 2002. Association of a missense mutation in the bovine leptin gene with carcass fat content and leptin mRNA levels. *Genetics Selection Evolution* 34, 105-116.
- Drinkwater, R.D., Li, Y., Lenane, I., Davis, S.P., Shorthose, R., Harrison, B.E., Richardson, K., Ferguson, D., Stevenson, R., Renaud, J., Loxton, I., Hawken, R.J., Thomas, M.B., Newman, S., Hetzel, D.J.S. and Barendse, W. 2006. Detecting quantitative trait loci affecting beef tenderness on bovine chromosome 7 near calpastatin and lysyl oxidase. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 46, 159-164.
- Geesink, G.H., Kuchay, S., Chishti, A.H. and Koohmaraie, M. 2006. μ -calpain is essential for post-mortem proteolysis of muscle proteins. *Journal of Animal Science* 84, 2834-2840.
- Goll, D.E., Thompson, V.F., Li, H., Wei, W. and Cong, J. 2003. The Calpain System. *Physiol Review* 83, 731-801.
- Gregory, K.E., Cundiff, L.V., Koch, R.M., Dikeman, M.E., Koohmaraie, M. 1994. Breed effects and retained heterosis for growth, carcass, and meat traits in advanced generations of composite populations of beef cattle. *Journal of Animal Science* 72, 833-850.
- Grisart, B., Coppieters, W., Farnir, F., Karim, L., Ford, C., Berzi, P., Cambisano, N., Mni, M., Reid, S., Simon, P., Spelman, R., Georges, M. & Snell, R. 2002. Positional cloning of a QTL in dairy cattle: identification of a missense mutation in the bovine *DGAT1* gene with major effect on milk yield and composition. *Genome Research* 12, 222-231.
- Harper, G. S. 1999. Trends in skeletal biology and the understanding of toughness in beef. *Australian Journal of Agricultural Research* 50, 1105-1129.
- Hedrick, H. B., Aberle, E. D., Forrest, J. C., Judge, M. D., Merkel, R. A. 1994. *Principles of Meat Science* 3, 126-127, 272-274.
- Hocquette, J-F. 2005. Where are we in genomics? *Journal of Physiology and Pharmacology* 56, 37-70.
- Hocquette, J-F., Lehnert, S., Barendse, W., Cassar-Malek, I. and Picard, B. 2007. Recent advances in cattle functional genomics and their application to beef quality. *Animal* 1, 159-173.
- Hocquette, J. F., Gondret, F., Baéza, E., Médale, F., Jurie, C., & Pethick, D. W. 2010. Intramuscular fat content in meat-producing animals: Development genetic and nutritional control and identification of putative markers. *Animal* 4:2, 303-319.
- Houseknecht K.L., Baile C.A., Matteri R.L., Spurlock M.C. 1998. The Biology of leptin: A review. *Journal of Animal Science* 76, 1405-1420.
- Kambadur, R., Sharma, M., Smith, P.L., John, J.B. 1997. Mutations in myostatin (GDF8) in Double-Musled Belgian Blue and Piedmontese Cattle. *Genome Research* 7, 910-95.
- Killinger, K. M., Calkins, C. R., Umberger, W. J., Feuz, D. M., Eskridge, K. M. 2004. Consumer sensory acceptance and value for beef steaks of similar tenderness, but differing in marbling level. *Journal of Animal Science* 82, 3294-3301.
- Koohmaraie, M., Kent, M. P., Shackelford, S. D., Veiseth, E., Wheeler, T. L. 2002. Meat tenderness and muscle growth: is there any relationship? *Meat Science* 62, 345-352.
- Koohmaraie, M. and Geesink, G.H. 2006. Contribution of post-mortem muscle biochemistry to the delivery of consistent meat quality with particular focus on the calpain system. *Meat Science* 74, 34-43.
- Kuypers, R and Kurth, L.B. 1995. Collagen's contribution to meat texture. In `Meat 95. Proceedings of the Australian Meat Industry research conference', 11B-18. (McBenny Pty Ltd: Brisbane)
- Leveau, C. 2008. Candidate genes for beef quality- allele frequencies in Swedish beef cattle. Swedish University of Agricultural Sciences. Examensarbete.

- Loneragan, S.M., Ernst, C.W., Bishop, M.D., Calkins, C.R., Koohmaraie, M. 1995. Relationship of restriction fragment length polymorphism (RFLP) at the bovine calpastatin locus to calpastatin activity and meat tenderness. *Journal of Animal Science* 73, 3608-3612.
- Lusk, J., Fox, J., Schroeder, T., Mintert, J., Koohmaraie, M. 1999. Will consumers pay for guaranteed tender steak? *Research Bulletin*, 3-99. Research Institute on Livestock Pricing, Kansas State University.
- Maltin, C.A., Delday, M.I., Sinclair, K.D., Steven, J. & Sneddon, A.A. 2001. Impact of manipulations of myogenesis *in utero* on the performance of adult skeletal muscle. *Reproduction* 122, 359-374
- Maltin, C.A., Balcerzak, D., Tilley, R., Delday, M.I. 2003. Determinants of meat quality: tenderness. *Proceedings of the Nutrition Society* 62, 337-347.
- Milan, D., Jeon, J. T., Looft, C., Amarger, V., Robic, A., Thelander, M., Rogel-Gaillard, C., Paul, S., Iannuccelli, N., Rask, L., Ronne, H., Lundström, K., Reinsch, N., Gellin, J., Kalm, E., Roy, P. L., Chardon, P., Andersson, L. 2000. A mutation in PRKAG3 associated with excess glycogen content in pig skeletal muscle. *Science* 288, 1248-1251
- Minick, J.A., Dikeman, M.E., Pollak, E.J., Wilson, D.E. 2004. Heritability and correlation estimates of Warner-Bratzler shear force and carcass traits from Angus-, Charolais-, Hereford-, and Simmental-sired cattle. *Canadian Journal of Animal Science* 84, 599-609.
- Mullen, A.M., Stapleton, P.C., Corcoran, D., Hamilla, R.M., White, A. 2006. Understanding meat quality through the application of genomic and proteomic approaches. *Meat Science* 74, 3-16.
- Oddy, V.H., Harper, G.S., Greenwood, P.L., McDonagh, M.B. 2001. Nutritional and developmental effects on the intrinsic properties of muscles as they relate to the eating quality of beef. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 41, 921-942
- Page, B.T., Casas, E., Quaas, R.L., Thallman, R.M., Wheeler, T.L., Shackleford, S.D., Koohmaraie, M., White, S.N., Bennett, G.L., Keele, J.W., Dikeman, M.E. and Smith, T.P.L. 2004. Association of markers in the bovine *CAPN1* gene with meat tenderness in large crossbred populations that sample influential industry sires. *Journal of Animal Science* 82, 3474-3481.
- Page, B.T., Casas, E., Heaton, M.P., Cullen, N.G., Hyndman, D.L., Morris, C.A., Crawford, A.M., Wheeler, T.L., Koohmaraie, M., Keele, J.W., Smith, T.P.L. 2002. Evaluation of single-nucleotide polymorphisms in *CAPN1* for association with meat tenderness in cattle. *Journal of Animal Science* 80, 3077-3085.
- Polkinghorne, R.J., Thompson, J.M. 2010. Meat Standards and grading. A world view: A review. *Meat Science* 86, 227-235
- Shackleford, S.D., Koohmaraie, M., Cundiff, L.V., Gregory, K.E., Rohrer, G.A. och Savell, J.W. 1994. Heritabilities and phenotypic and genetic correlations for Bovine postrigor calpastatin activity, intramuscular fat content, Warner Bratzler shear force, retail product yield and growth rate. *Journal of Animal Science* 72, 857-863.
- Schenkel, F.S., Miller, S.P., Ye, X., Moore, S.S., Nkrumah, J.D., Li, C., Yu, J., Mandell, I.B., Wilton, J.W. & Williams, J.L. 2005. Association of single nucleotide polymorphisms in the leptin gene with carcass and meat quality traits of beef cattle. *Journal of Animal Science* 83, 2009-2020.
- Schenkel, F.S., Miller, S.P., Jiang, Z., Mandell, I.B., Ye, X., Li, H., Wilton, J.W. 2006. Association of a single nucleotide polymorphism in the calpastatin gene with carcass and meat quality traits of beef cattle. *Journal of Animal Science* 84, 291-299
- Sorensen, B., Kühn, C., Teuscher, F., Schneider, F., Weselake, R., Wegner, J. 2006. Diacylglycerol acyltransferase (DGAT) activity in relation to muscle fat content and *DGAT1* genotype in two different breeds of *Bos taurus* (short communication). *Arch. Tierz Dummerstorf* 49, 351-356.
- Svenskt kött. Nötkött. Mars 2012. <http://www.svensktkott.se/not/>
- Thaller, G., Kuhn, C., Winter, A., Ewald, G., Bellmann, O., Wegner, J., Zuhlke, H. & Fries, R. 2003. *DGAT1*, a new positional and functional candidate gene for intramuscular fat deposition in cattle. *Animal Genetics* 34, 354-357.

- Warner, R.D., Greenwood, P.L., Pethick, D.W., Ferguson, D.M. 2010. Genetic and environmental effects on meat quality. *Meat Science* 86, 17-183.
- Warris, P.D. 2000. *Meat science, an introductory text*. CABI Publishing. Wallingford, Oxon, UK.
- Wheeler, T. L., Cundiff, L. V., Koch, R. M. 1994. Effect of marbling degree on beef palatability in *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle. *Journal of Animal Science* 72, 3145–3151.
- Wheeler, T.L., Shackelford, S.D., Casas, E., Cundiff, L.V., Koohmaraie, M. 2001. The effects of Piedmontese inheritance and myostatin genotype on the palatability of longissimus thoracis, gluteus medius, semimembranosus, and biceps femoris. *Journal of Animal Science* 79, 3069–3074
- Wheeler, T.L., Cundiff, L.V., Shackelford, S.D. and Koohmaraie, M. 2004. Characterization of biological types of cattle (Cycle VI): carcass, yield and longissimus palatability traits. *Journal of Animal Science* 83, 196-207.
- Wheeler, T.L., Cundiff, L.V., Shackelford, S.D. and Koohmaraie, M. 2005. Characterization of biological types of cattle (Cycle VII): carcass, yield and longissimus palatability traits. *Journal of Animal Science* 83, 196-207.
- White, S.N., Casas, E., Wheeler, T.L., Shackelford, S.D., Koohmaraie, M., Riley, D.G., Chase, C.C., Johnson, D.D., Keele, J.W. and Smith, T.P.L. 2005. A new single nucleotide polymorphism in *CAPNI* extends the current tenderness marker test to include cattle of *Bos indicus*, *Bos taurus*, and crossbred descent. *Journal of Animal Science* 83, 2001-2008.