



Sveriges lantbruksuniversitet  
Fakulteten för veterinärmedicin och husdjursvetenskap

# Avel för minskad klimatförändring

*Sofia Jansson*

---

Institutionen för husdjursgenetik  
Examensarbete 347  
Uppsala 2011

Examensarbete, 15 hp  
– Kandidatarbete (Litteraturstudie)  
Kandidatprogrammet–Husdjursvetenskap

---



Sveriges lantbruksuniversitet  
Fakulteten för veterinärmedicin och husdjursvetenskap  
Institutionen för husdjursgenetik

## **Avel för minskad klimatförändring**

Animal breeding to reduce environmental impact

*Sofia Jansson*

**Handledare:**

Helen Hansen Axelsson, SLU, Institutionen för husdjursgenetik  
Karl-Johan Petersson, SLU, Institutionen för husdjursgenetik

**Examinator:**

Therese Ahlman, SLU, Institutionen för husdjursgenetik

**Omfattning:** 15 hp

**Kurstitel:** Kandidatarbete i husdjursvetenskap

**Kurskod:** EX0553

**Program:** Husdjursvetenskap - kandidatprogram

**Nivå:** Grund, G2E

**Utgivningsort:** Uppsala

**Utgivningsår:** 2011

**Serienamn, delnr:** Examensarbete 347

Institutionen för husdjursgenetik, SLU

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

**Nyckelord:** växthusgasutsläpp, metan, fodereffektivitet, husdjursavel

## Sammanfattning

Denna litteraturstudie har utförts med syftet att redogöra för hur husdjursavel kan användas för att minska den negativa miljöpåverkan från animalieproduktion. Animalieproduktion påverkar miljön negativt genom husdjurens utsläpp av växthusgaser, främst metangas. Litteraturstudien behandlar huvudsakligen idisslare eftersom den största delen av de totala metanutsläppen, från husdjur, härstammar från dem. Metangas bildas under den mikrobiella fermenteringen som sker i våmmen hos idisslare. Fermentering av foder med hög smältbarhet resulterar i mindre metanbildning jämfört med foder med låg smältbarhet. Egenskaper som beskrivs i studien och som anses väsentliga för selektion är ökad produktivitet och fodereffektivitet, effektivare foderutnyttjande, förbättrad fertilitet och andra hälsoegenskaper. Det diskuteras kring vilka för och nackdelar avel har, på de egenskaper som beskrivs, har för att åstadkomma minskade utsläpp från husdjur. Slutsatsen är att avel är en användbar metod för att minska husdjurens växthusgasutsläpp då det ger bestående resultat i husdjurens produktionsförmåga. Det är dock viktigt att beakta djurens hälsopåverkan vid selektion på vissa produktionsegenskaper då ogynnsamma korrelationer förekommer.

## Abstract

This review has been conducted with the aim to describe how to reduce the negative environmental impact of livestock production through breeding. Livestock production has a negative environmental impact because of greenhouse gas emissions, mainly methane. This review is mainly about ruminants since the majority of the total methane emissions from livestock derived from them. Methane is formed by ruminants during microbial fermentation which occurs in the rumen. The fermentation of feed with high digestibility results in less methane production compared with feed with low digestibility. Properties described in this study and deemed essential for genetic selection are: increased productivity and feed efficiency, efficient feed utilization, improved fertility and other functional traits. The conclusion is that breeding is a useful tool to achieve reduced emissions of greenhouse gases from livestock as it gives improved and permanent changes in the performance of the animal. However, it is important to consider effects on the animal health when genetic selection is made on certain production traits due to the existence of unfavorable correlations between traits.

## Introduktion

Miljöpåverkande faktorer får alltmer ökade politiska, ekonomiska och sociala prioriteringar (Capper et al., 2009). All form av livsmedelproduktion inverkar på miljön. Animalieproduktion har en negativ miljöpåverkan främst genom dess utsläpp av växthusgaser. Eftersom världens befolkning ökar krävs en ökad tillgång på livsmedel som är producerade på ett sätt som är miljömässigt hållbart. Enligt en rapport från Food and Agriculture Organization (FAO) är husdjursektorn en av de tre sektorer som orsakar de allvarligaste miljöproblemen, både på lokal samt global nivå (Steinfeld et al., 2006). För att undvika förvärrade problem måste miljöpåverkan per djurenhet halveras. 18 % av de globala växthusgasutsläppen, som mäts i koldioxidekvivalenter, kommer från husdjuren. De främsta växthusgaserna är metangas (CH<sub>4</sub>), koldioxid (CO<sub>2</sub>) och lustgas (N<sub>2</sub>O) (Martin et al., 2009). Globalt sett bidrar husdjurssektorn med 37 % av de totala utsläppen av metangas (Steinfeld et al., 2006). Störst mängd metangas bildas av idisslarna vid den mikrobiella fermenteringen, som sker i samband med djurens fodersmältning.

Mängden växthusgaser som bildas varierar inom och mellan djurslag (Hoffman, 2010). Enligt Hoffman (2010) kan detta påverka den framtida acceptansen för olika produktionsformer och djurslag. Inom exempelvis köttproduktion orsakar en intensiv produktion bestående av mycket kraftfoder mindre metangas per köttenthet jämfört med en mer extensiv produktion bestående av exempelvis bete. Detta beror dels på att en ökad mängd kraftfoder leder till en minskad metangasproduktion och dels på den snabbare tillväxthastigheten som det intensivare produktionssystemet medför.

Metan har en direkt klimatpåverkan genom sin interaktion med infraröd energi och indirekt påverkan genom koldioxidbildning vid atmosfäriska oxidationsreaktioner (Johnson och Johnson, 1995). Reducerade utsläpp av växthusgaser, främst metangas, från husdjuren kan ha stor betydelse för att åstadkomma minskade klimatförändringar (Wall et al., 2009). För att minska husdjurens utsläpp av växthusgaser är det bland annat viktigt med husdjursraser som är effektiva på att omvandla foder till livsmedel (Hoffman, 2010). Även en ökad fermenteringshastighet och fodersmältning kan bidra till minskad metanproduktion (Johnson och Johnson, 1995). Enligt Wall et al (2009) kan utsläpp av växthusgaser minskas genom selektion på egenskaper som leder till hälsosammare och mer produktiva djur. En ökad produktionsförmåga hos husdjuren leder till minskad metanproduktion per enhet kött eller mjölk (Farooq Iqbal et al., 2008).

Syftet med denna litteraturstudie är att redogöra för hur husdjursavel kan leda till minskade utsläpp av växthusgaser från husdjur, huvudsakligen nötkreatur, och därmed minskade klimatförändringar. I studien beaktas egenskaper väsentliga för selektion med ändamålet att reducera växthusgasutsläpp från animalieproduktionen.

## **Metanproduktion i våmmen**

Omkring 95 % av de totala metanutsläppen från husdjur härstammar från idisslare (Mosier et al., 1998). En analys av Crutzen et al. (1986) visade att den största delen (83 %) av de globala metanutsläppen härstammar från nötkreatur och buffel samt att den näst största delen (12 %) kommer från får. Största delen av metanutsläppen från idisslare kommer från deras våm. I våmmen sker fodersmältningen med hjälp av mikroorganismer i anaerob miljö (Martin et al., 2009). När mikroorganismerna fermenterar fodrets kolhydrater, för sin egen energiförsörjning, bildas flyktiga fettsyror. Vid normal förjäsning bildas främst acetat, propionat och butyrat. Förutom flyktiga fettsyror bildas koldioxid och vätgas (Mosier et al., 1998). Mängden vätgas som bildas beror på produktionen av flyktiga fettsyror. Vätgas bildas vid produktion av acetat och butyrat men förbrukas vid produktion av propionat.

I den anaeroba miljön i våmmen finns även så kallade metanogener (Mosier et al., 1998). Dessa bakterier omvandlar vätgas och koldioxid till metan för att bilda energi. Metangasen elimineras sedan när djuret rapar. Enligt Mosier et al. (1998) varierar mängden metanutsläpp kraftigt mellan olika typer av idisslare. Nötkreatur kan dagligen producera från 250 till 500 liter metan per djur (Farooq Iqbal et al., 2008). Det bildas omkring 4,5 gram metan per 100 gram smält kolhydrat (McDonald et al., 2002). För djuren innebär metanproduktionen en energiförlust motsvarande alltifrån 2 % till 12 % av det totala energiintaget (Johnson och Johnson, 1995). Vid näringstillförsel för underhållsnivå är ungefär 7 % till 9 %, av fodrets totala energi, energiförluster i form av metangas (McDonald et al., 2002). Vid högre nivåer av foderintag sjunker proportionen ner till 6 % av energiintaget. Förutom att metanutsläpp varierar beroende på skillnader i foderintag påverkar även djurets digestionsförmåga, vilket skiljer sig mellan djurslag och djurens ålder (Mosier et al., 1998).

Mängden producerad propionat i förhållande till mängden acetat har stor inverkan på metanproduktionen i våmmen (Johnson och Johnson, 1995). Mindre metan bildas då produktionen av propionat är större än produktionen av acetat vilket beror på att tillgången på vätgas är begränsad vid produktion av propionat (Farooq Iqbal et al., 2008). Även pH-värdet i våmmen minskar när proportionen av propionat ökar vilket har en hämmande effekt på metanogenernas produktion av metan. Om alla kolhydrater fermenteras till acetat skulle energiförlusten, i form av metan, uppgå till 33 % (Johnson och Johnson, 1995). Eftersom det är stora variationer i förhållandet mellan producerad propionat och acetat är det även stora variationer i husdjurens metanutsläpp. Variationerna i förhållandet mellan producerad propionat och acetat beror på vilken typ av kolhydrat som fermenterats. Svårösliga kolhydrater, exempelvis fiberrika växtdelar, resulterar i en högre andel acetat än propionat. Motsatt effekt uppstår vid fermentering av lättlösliga kolhydrater, till exempel spannmål, då en större andel propionat produceras. Djur som utfodras med mycket spannmål och proteinkoncentrat, exempelvis kött djur i så kallade "feedlots" i USA, bidrar därför med lägre metanutsläpp än djur vars foder huvudsakligen består av bete eller annat vallfoder.

### **Avel på djur med låg metangasproduktion**

Under de senaste åren har det diskuterats kring om husdjurens metanutsläpp kan minskas genom avel på djur som uppvisar låg metangasproduktion (Martin et al., 2009). Flera forskargrupper har fastställt att genetisk variation förekommer mellan djur med samma produktionsnivå och foderkonsumtion. I en studie av Blaxter och Clapperton (1965) visade mätningar på får i respirationskammare variationer i metanutsläpp mellan fåren. Detta bekräftades även genom studier utförda på får under betesförhållanden (Lassey et al., 1997). De hävdade att 85 % av variationen i daglig metangasproduktionen från får som betade i tempererade områden berodde på variationer mellan djuren. Om dessa variationer är genetiska kan avel tillämpas på djur som uppvisar låg metangasproduktion.

Selektion på djur som uppvisar låg metangasproduktion baseras på direkta mätningar på djurens metanutsläpp (Wall et al., 2009). Prover med utandningsluft kan tas från enskilda djur eller från grupper av djur. Provernas metankoncentration analyseras genom användning av infraröd spektroskopi, gaskromatografi eller med hjälp av laserdioder. För att samla in luftprover kan ett flertal tekniker användas såsom respirationskammare, huvudlådor samt speciella huvor och masker. Att utföra mätningar och provtagningar på djurens metanutsläpp är dock svårt och direkt selektion på djur som uppvisar låga metanutsläpp innebär praktiska svårigheter. Vid selektion på egenskaper som är svåra att mäta kan genomisk selektion vara ett alternativ (Scholtz et al., 2010). Genomisk selektion definieras som selektion av djur baserad på djurens genomiska avelsvärden. Genomiska avelsvärden är summan av ett stort antal DNA-markörers effekt på en egenskap (Hayes et al., 2009). Genomisk selektion möjliggör att samla in fenotypdata från utvalda djur och använda samma data inom populationen över generationsgränserna. Det minskar mängden av fenotypinformation som behövs för att skatta avelsvärdena med hög säkerhet (Dekkers, 2010).

### **Genetiska skillnader i fodersmältning hos idisslare**

Variation i metanutsläpp mellan djur med samma produktionsnivå och foderintag, antas bero på individuella skillnader i fodrets passagehastighet, mikrobiell aktivitet i våmmen samt förhållanden vid fermentering (Martin et al., 2009). Digestionsvätskans retentionstid har en påtaglig inverkan på metanproduktionen (Pinares-Patiño et al., 2003). Hur snabbt ett djur konsumerar sitt foder påverkar dess totala foderintag samt fodrets retentionstid (Hegarty och

McEwan, 2010). Ju snabbare konsumtionshastighet desto större foderintag och kortare retentionstid. Enligt Hegarty (2004) medför en kortare retentionstid ökad effektivitet hos husdjur. Det finns skillnader i konsumtionshastighet mellan djur och det har konstaterats att den dagliga metangasproduktionen är lägre vid en kortare retentionstid. Flera undersökningar påvisar skillnader även i retentionstid mellan genotyper. Studier av Pinares-Patiño et al. (2003) visade att 57 % av variationen i metanutsläpp, mellan får, berodde på skillnader i retentionstiden i fårens våm. Digestionsvätskans genomsnittliga retentionstid eller dess retentionstid i våmmen kan därför vara lämpliga selektionsegenskaper för ökad produktivitet hos husdjur.

Fysiologiska faktorer som orsakar variationer i digestionssystemets funktion mellan djur, har bedömts som möjliga selektionsegenskaper för att åstadkomma ökad tillväxt och effektivare foderutnyttjande hos idisslare (Hegarty, 2004). Husdjurens produktivitet kan påverkas genom att förändra antalet och mångfalden av våmmens mikroorganismer, förhållandet mellan de flyktiga fettsyror, mikrosammansättningen och dess underhållsbehov samt effektiviteten i den mikrobiella tillväxten. Enligt Hegarty (2004) finns möjligheten att påverka populationen av våmmikrober och fodersmältningen genom avel på djur med en viss foderpreferens.

## **Avel för effektivare foderutnyttjande**

Metan är en förlust av kol från våmmen som beror på dåligt foderutnyttjande (Steinfeld et al., 2006). Effektiviteten i foderutnyttjandet hos husdjur är avgörande både för lönsamheten i mjölk- och köttproduktion samt för husdjurens miljöpåverkan (Reynolds et al., 2011). Eftersom vallfoder har en lägre smältbarhet än spannmål är idisslare oftast mindre effektiva på energiutnyttjande jämfört med grisar och fjäderfä. Faktorer såsom foderutnyttjande och residuellt foderintag (RFI) påverkar djurets förmåga att utnyttja fodrets energi. Foderutnyttjande definieras som mängden kött eller mjölk som produceras per kg foder. RFI kan beskrivas som skillnaden mellan djurets sanna foderintag och dess förväntade foderintag (Arthur et al., 2001). Det baseras på djurets levandevikt och tillväxttakt över en viss tidsperiod. Genetiska variationer i foderutnyttjande och RFI möjliggör selektion för effektivare djur och minskad miljöpåverkan (Wall et al., 2009). Variationen beror bland annat på skillnader i digestionsfysiologi mellan djur. Större delen av variationen i foderutnyttjandet beror dock på fodrets smältbarhet. Hög smältbarhet ger ett ökat foderintag och foderutnyttjande vilket i sin tur leder till ökad mjölk eller köttproduktion och minskade metanutsläpp. Andra faktorer som kan påverka foderutnyttjandet hos lakterande mjölkkor är laktationsstadium, hälsa, juverhälsa, fysisk aktivitet, värmestress, fodrets proteinkoncentration samt fodertillsatser (Reynolds et al., 2011).

I två studier av Mrode et al. (1990a och 1990b) jämförs två selektionsstrategier på kötttillväxt och foderomvandlingsförmåga hos köttproducerande nötkreatur av rasen Hereford. De kom fram till att tillväxten ökade när man selekterade för kötttillväxt men inte vid urval för effektivare foderomvandlingsförmåga. För genetiska framsteg i fodereffektivitet och tillväxt är selektion på kötttillväxt därför att föredra. Enligt Hyslop (2008) är effektivitet inom köttproduktion av stor betydelse för att reducera växthusgasutsläppen per producerad enhet. Hyslop (2008) visade att intensiva system, baserade på foderkoncentrat, bidrog med de lägsta utsläppen per kg kött. Ytterligare undersökningar av denna författare påvisade en signifikant rasskillnad i växthusgasutsläpp då de större, kontinentala köttraserna producerade mindre växthusgaser per köttenthet jämfört med de mindre brittiska raserna.

I selektionsprogram för svin och fjäderfä har foderutnyttjande haft en direkt effekt på reducerat foderbehov och kortare uppfödningstid för att uppnå önskad slaktvikt (Wall et al., 2009). Wall et al. (2009) har sammanställt en del resultat från andra studier som utförts på svin och fjäderfä. I sammanställningen nämns att avelsprogram inom ägg och slaktkycklingindustrin har lett till genetiska framsteg i djurens foderomvandlingsförmåga. Exempelvis har tiden för en broilerkyckling att uppnå en vikt på två kg minskat från 63 dagar år 1976, till 36 dagar år 1999. Även grisar av holländsk lantras ökade i fodereffektivitet från 3,5 kg år 1930 till 2,8 kg 1990. Dessa förbättringar i fodereffektivitet hos växande djur har en gynnsam effekt på växthusgasutsläppen från dessa husdjursindustrier.

### **Avel för lågt residualt foderintag**

Ett lågt RFI är synonymt med en hög fodereffektivitet. Köttdjur med lågt RFI har ett lägre foderintag än vad som förväntas behövas för upprätthållandet av deras kroppsvikt och dagliga tillväxt (Hegarty et al., 2007). Detta innebär att djur, med lågt RFI, kräver mindre foder för att producera samma mängd kött eller mjölk jämfört med djur med högt RFI. I studien av Hegarty et al. (2007) påstås arvbarheten för RFI vara måttligt hög. Detta möjliggör en etablering av olika urvalslinjer för djur med högt eller lågt RFI samt utveckling av skattade avelsvärden.

Enligt Berry (2008) har intresset för RFI, inom området för husdjursavel, ökat under de senaste åren beroende på att det inte är kopplat till produktionsegenskaper såsom levandevikt och dagligtillväxt hos köttdjur samt levandevikt och mjölkproduktion hos mjölkkor. Nackdelen med RFI är att det är svårt att beräkna. Richardson och Herd (2004) studerade en generation köttdjur, av rasen Angus, efter selektion på RFI. Studien visade att många fysiologiska processer orsakar variation i RFI mellan djur. Genom mätningar på djurens blodkoncentration såg de att variation i RFI berodde på skillnader i djurens kroppssammansättning (5 %), aktivitet (10 %), värmebildning från fodersmältning (9 %) och konsumtionsbeteende (2 %).

Husdjurens konsumtionshastighet har visat sig vara positivt och gynnsamt korrelerad med dagligt foderintag och foderomvandlingsförmåga hos avkommor från föräldradjur som selekterats för högt eller lågt RFI (Richardson och Herd, 2004). I undersökningen fann de inga skillnader i konsumtionshastighet mellan avkommor med högt eller lågt RFI. Dessa avkommor tillhörde dock den första generationen efter selektion. Hos grisar har ätbeteende visat sig vara en viktig orsak till variationer i RFI mellan djur (Hegarty, 2004).

Köttdjur som selekterats för lågt RFI förväntas producera mindre metangas än köttdjur med högt RFI (Alford et al., 2006). Detta faktum påvisades i en studie av Hegarty et al. (2007). I denna studie jämfördes metanproduktion och foderintag hos ett tjugotal stutar av rasen Aberdeen Angus. Tio av stutarna hade lågt RFI medan de resterande tio hade högt RFI. Jämförelsen visade inga skillnader i daglig tillväxt trots att stutarna med lågt RFI intog 41 % mindre torrsbstans foder dagligen än stutarna med högt RFI. Jämförelsevis uppvisade stutarna med lågt RFI även en effektivare foderomvandlingsförmåga och 25 % mindre dagligt metanutsläpp. Enligt beräkningar av Alford et al. (2006) kan metanutsläpp minska med 16 % under 25 år om RFI inkluderades i selektionsprogram för köttproducerande djur. Det finns en genetisk variation i foderintag hos djur som är oberoende av djurets levandevikt och dagliga tillväxt. Denna variation utgör grunden för selektion för ökad fodereffektivitet (Arthur et al., 2001).

## Genetiska parametrar för effektivare foderutnyttjande

Arvbarheten för fodereffektivitet och RFI beräknades i en studie av Vallimont et al. (2011). Dessutom undersöktes förhållandet mellan fodereffektivitet och andra produktionsegenskaper som anses ekonomiskt relevanta. Arvbarheten för fodereffektivitetsegenskaper varierade från 0,14 till 0,18 och för RFI var arvbarheten 0,01. Korrelationen mellan effektivitetsegenskaperna och kroppsvikt samt hullbedömning var hög och negativ (-0,64 till -0,70) vilket indikerar att stora och feta kor var mindre effektiva jämfört med små och tunna kor. Studiens resultat visade att selektion för högre avkastning och lägre kroppsvikt leder till ökad fodereffektivitet.

I en annan studie av Vallimont et al. (2011) studerades betydelsen av mätningar på foderintag, i kommersiella mjölkobesättningar, för att få fram genetiska parametrar för foderintag, avkastning, kroppsvikt, hullbedömning. I studien beräknades arvbarheten för foderintag under 305 dagar, råprotein och nettoenergi av laktation vara från 0,15 till 0,18. Genetiska korrelationer mellan de tre egenskaperna för foderintag och fettkorrigerad mjölkavkastning, kroppsvikt och kroppsform var relativt höga, från 0,52 till 0,63. Resultaten från denna studie visar att månadsvisa mätningar på foderintag i kommersiella mjölkobesättningar har tillräckligt stor säkerhet för att kunna användas som hjälpmedel i genetisk forskning. De genetiska korrelationerna mellan de observerade och antagna värdena för foderintag var höga vilket påvisar möjlig förekomst av variation i fodereffektivitet mellan kor.

I en studie av Arthur et al. (2001) användes kvigor och tjurar av köttrasen Aberdeen Angus i olika tester för att uppskatta genetiska och fenotypiska parametrar för foderintag, fodereffektivitet och andra egenskaper som är viktiga efter avvänjning såsom 200-dagars vikt och 400-dagars vikt. Dessutom studerades daglig tillväxt, dagligt foderintag, foderomvandlingsförmåga och RFI.

Tabell 1 visar att värdena för arvbarhet är desamma för dagligt foderintag och RFI (Arthur et al., 2001). Studien av Vallimont et al. (2011) uppger dock en betydligt lägre arvbarhet för RFI jämfört med studien av Arthur et al. (2001). Även arvbarheten för foderintag skiljer sig en del mellan studierna. Jämförelsevis mellan de olika egenskaperna, är det liten skillnad i arvbarhet mellan daglig tillväxt och foderomvandlingsförmåga.

Beräkningar på arvbarheten för RFI hos växande kött djur varierar från 0,14 till 0,44 (Berry, 2008). Hos lakterande mjölkkor varierar arvbarheten för RFI under laktation från 0,12 till 0,38. Enligt Berry (2008) finns det bristande kunskap kring hur RFI kvantifieras exakt hos lakterande kor. Det finns även lite fakta kring sambandet mellan mätningar på RFI hos ungdjur och senare mätningar på RFI hos vuxna nötkreatur med hänsyn till djurens reproduktion, hälsa och produktion.

Tabell 1. Arvbarhet ( $\pm$ SE) för egenskaper som påverkar foderutnyttjandets effektivitet

Egenskap	Arvbarhet ( $h^2$ )
Daglig tillväxt <sup>1</sup>	0.28 $\pm$ 0.04
Foderintag <sup>1</sup>	0.39 $\pm$ 0.03
Foderomvandlingsförmåga <sup>1</sup>	0.29 $\pm$ 0.04
RFI <sup>1</sup>	0.39 $\pm$ 0.03
Foderintag <sup>2</sup>	0.16 $\pm$ 0.07
RFI <sup>2</sup>	0.01 $\pm$ 0.05

<sup>1</sup> (Arthur et al., 2001)

<sup>2</sup> (Vallimont et al., 2011)



Tabell 2 visar att foderomvandlingsförmåga var genetiskt ( $r_g = 0.66$ ) och fenotypiskt ( $r_f = 0.53$ ) korrelerad till residualt foderintag (RFI). Foderomvandlingsförmåga var även korrelerad med daglig tillväxt ( $r_g = -0.62$ ,  $r_f = -0.74$ ). Daglig tillväxt och RFI var mycket svagt korrelerade ( $r_g = -0.04$ ,  $r_f = -0.06$ ). Korrelationen mellan foderintag och RFI var starkare jämfört med korrelationen mellan foderintag och foderomvandlingsförmåga. I studien observerades en negativ, gynnsam korrelation mellan egenskaperna för foderomvandlingsförmåga och daglig tillväxt. Detta innebär att snabbväxande djur tenderar ha en bättre foderomvandlingsförmåga. Selektion kommer därför troligtvis att resultera i djur med bättre foderomvandlingsförmåga. Enligt Arthur et al. (2001) borde RFI inte vara fenotypiskt korrelerad till dess komponentegenskaper vilket bekräftades av studiens resultat. Resultaten från denna studie av Arthur et al. (2001) visar att genetiska framsteg i fodereffektivitet kan åstadkommas genom selektion på djur med höga avelsvärden för de egenskaper som nämnts.

Tabell 2. Genetiska ( $r_g$ ; nedre delen av diagonalen) och fenotypiska ( $r_f$ ; övre delen av diagonalen) korrelationer ( $\pm$ SE) mellan daglig tillväxt, foderintag, foderomvandlingsförmåga och RFI (Arthur et al., 2001)

Egenskap	Daglig tillväxt	Dagligt foderintag	Foderomvandlingsförmåga	RFI
Daglig tillväxt		$0.54 \pm 0.06$	$-0.62 \pm 0.06$	$-0.04 \pm 0.08$
Foderintag	0.41		$0.31 \pm 0.07$	$0.69 \pm 0.03$
Foderomvandlingsförmåga	-0.74	0.23		$0.66 \pm 0.05$
RFI	-0.06	0.72	0.53	

## Avel för ökad produktivitet

Inom animalieproduktion innebär hög produktivitet att djurens produktion av exempelvis mjölk och kött är så hög som möjligt i förhållande till dess foderintag (Andersson et al., 2010). Ett minskat foderbehov leder till minskade växthusgasutsläpp. Enligt en rapport från FAO är tillämpning av metoder, till exempel husdjursavel, som leder till effektivare och produktivare djur mest optimalt för att åstadkomma minskade metanutsläpp från husdjur (Steinfeld et al., 2006). Enligt Hegarty och McEwan (2010) kan metanutsläpp reduceras genom selektion för ökad daglig tillväxt hos köttproducerande djur. Jämfört med rena mjölkkraser har köttkraser bättre tillväxt och ett effektivare foderutnyttjande (Andersson et al., 2010). För att öka köttproduktionen och minska foderbehovet i mjölkbesättningar, samt nå det önskade genetiska framsteget i mjölkproduktion, kan till exempel de bästa korna semineras med könsorterad sperma (Abdel-Azim och Schnell, 2007) och kor med lågt avelsvärde semineras med kötttrassperma (Andersson et al., 2010).

Husdjurens produktivitet kan förbättras genom selektion på djur med bra avelsvärden för produktionsegenskaper (Farooq Iqbal et al., 2008). Genom selektion, på en viss egenskap, kan egenskapens medelvärde eller avelsindex årligen förändras med mellan 1 % och 3 % (Wall et al., 2009). Enligt Wall et al. (2009) kan selektion för ökad produktivitet leda till minskade utsläpp av växthusgaser på två sätt. Dels genom att högre produktivitet leder till ökad fodereffektivitet och till ett minskat underhållsbehov. Dels genom att det krävs färre antal djur för att uppnå en hög produktionsnivå och avkastning. I Storbritannien har selektion på produktionsegenskaper såsom mjölkavkastning och tillväxt resulterat i ett minskat utsläpp av

växthusgaser från husdjur. I USA har det genetiska framsteget i mjölkproduktion lett till att miljöpåverkan minskat betydligt (Capper et al., 2009). I en studie av Ferris et al. (1999) jämfördes kväve- och metanutsläpp från Holstein-Friesian kor med olika avelsvärden för mjölkproduktion. De kor som hade medelhöga avelsvärden uppvisade en större mängd kväve och metanutsläpp per kväveenhet och totala energiintag, jämfört med de kor som hade höga avelsvärden. Detta innebär att kor med höga avelsvärden för mjölkproduktion omvandlar fodrets energi och proteininnehåll effektivare än kor med lägre avelsvärden.

Produktiva kor producerar mer mjölk trots att de har samma energiintag och metanproduktion som kor med sämre produktionsförmåga (Beukes et al., 2009). Färre antal produktiva djur krävs då för att producera samma mjölmängd och mjölksammansättning per markenhet vilket medför minskat foderbehov och metanutsläpp. I en studie av Bell et al. (2010) uppskattades effekten av långsiktig avel på mjölkkor för ökad halt av protein och fett i mjölk med avseende på metanutsläpp. Studien pågick under 17 års tid och en jämförelse mellan den första femårsperioden och den sista femårsperioden av studien visade att metanutsläppen per kg mjölk minskade hos kor som selekterats för ökad fett- och proteinhalt i mjölken.

I u-länder är många inhemska raser, främst kötttraser, underutnyttjade vilket har en negativ inverkan på miljön (Rege et al., 2011). Enligt Philipsson (2010, personligt meddelande) är det många avelsprogram som misslyckas på grund av bristande långsiktighet, kompetens och infrastruktur. Vid husdjursavel för att minska husdjurens utsläpp av växthusgaser är ”utvecklingsavel” den typ av avelsprogram, som är lämpligast att tillämpa då det innebär att man systematiskt och målmedvetet förändrar djurmaterialet i en viss riktning genom urval av djur med önskvärda arvsanlag (Philipsson, 2010 personligt meddelande).

## **Avel för bättre djurhälsa och fertilitet**

Det har visat sig att genetisk variation förekommer hos många hälsoegenskaper och därför kan förbättras genom selektion (Wall et al., 2009). I sin rapport hävdar Wall et al. (2009) att bredare avelsmål med selektion på djur för att uppnå en optimal kombination av produktions- och hälsoegenskaper kan bidra med minskade växthusgasutsläpp från många animalieproduktionssystem. Selektion för bättre djurhälsa leder till minskade produktionsbortfall och därmed även till minskade utsläpp av växthusgaser. Selektion som leder till ökad livslängd, bättre juverhälsa, förbättrad fertilitet och friskare djur minskar behovet av rekryteringsdjur för upprätthållandet av en viss besättningsstorlek. Eftersom djurens produktionsförmåga försämras av dålig hälsa och sjukdom kan selektion på hälsoegenskaper dessutom leda till minskade växthusgasutsläpp genom att produktionsnivån upprätthålls. En ökad medelålder hos hondjuren i en besättning minskar behovet av rekryteringshondjur och därmed reduceras besättningens totala metanutsläpp (Hegarty och McEwan, 2010). Studien av Hegarty och McEwan (2010) visade att utsläppsintensiteten minskade med 6,4 % vid ett års fördröjd utslaktning av tackor.

Genom att öka det genomsnittliga antalet laktationer, i den nationella mjölkkopopulationen, minskar antalet mjölkkor och rekryteringsdjur som krävs för att upprätthålla den nationella mjölkkvoten (Wall et al., 2009). Kor i första laktation har lägre mjölkavkastning än kor i senare laktationer. Enligt Wall et al. (2009) är det önskvärt att mjölkavkastning fortsätter öka med tiden som resultat av genetiskt framsteg. Då krävs dessutom färre kor för att upprätthålla en konstant mjölkproduktion. En studie av Bell et al. (2010) visade att högavkastande, äldre kor, producerade mindre metangas i förhållande till den omsättbara energin och per kg mjölk

jämfört med yngre kor under en laktation. De äldre korna bidrog dock med ett större metanutsläpp 30 veckor efter kalvning, jämfört med de yngre korna.

I de svenska mjölkbesättningarna är omsättningen på mjölkkor mycket hög (Lindhé, 1997). Den genomsnittliga åldern för svenska mjölkkor är fem år (Roxström, 2001). Då de kalvar in vid två års ålder producerar de mjölk i endast två till tre års tid. Fertilitetsproblem är den vanligaste utgallringsorsaken inom mjölkproduktion (Philipsson, 1981). Selektion på mjölkproduktion leder till nedsatt fertilitet och därmed kortare livslängd (Roxström, 2001). I sin avhandling bekräftar Roxström (2001) att korrelationen mellan mjölkavkastning och fertilitet är ogynnsam. Enligt Roxström blir korrelationen dessutom mer ogynnsam ju äldre korna blir vilket kan bero på ökad mjölkproduktion. Resultaten från avhandlingen visade att fertilitet skiljer sig mellan perioden som kviga och som lakterande ko varför det borde betraktas som en separat egenskap beroende på vilken period kon befinner sig i. Vid selektion rekommenderas att flera fertilitetsegenskaper kombineras. Nordisk Avelsindex (NTM) för fertilitet inkluderar intervall från första till sista insemination och antal insemineringar för både kor och kvigor (Pedersen et al., 2008). För kor gäller dessutom intervall från kalvning till första insemination och fertilitetsbehandlingar.

Enligt Philipsson (1981) är den additiva genetiska variansen i fertilitetsegenskaper stor, trots att värdena för arvbarhet är låga, oftast från 0,01 till 0,05. I vissa fall kan den låga arvbarheten bero på minskad genetisk variation som orsakats av många generationer av artificiell selektion. Det kan även bero på att säkerheten i tjurarnas avelsvärdering för fertilitetsegenskaper är lägre än för andra egenskaper som exempelvis mjölkproduktion (Wall et al., 2003). Information kring mjölkkraskvigers fertilitet är därför särskilt intressant och väsentligt när viktiga beslut, om tjurar för avkommeprövning, fattas. Enligt Philipsson (1981) kan några större genetiska effekter på fertilitetsegenskaper endast uppnås genom selektion på tjurar som baserar sig på tillräckligt stora grupper med avkommor.

I en studie av Garnsworthy (2004) påstås förbättrad fertilitet minska metanutsläppen med 24 %. Författaren hävdade att foderkvaliteten har en liten effekt på djurens metanutsläpp jämfört med effekterna av förbättrad fertilitet och ökad mjölkavkastning. Fertilitet har en stor effekt på antalet djur som krävs för att uppehålla besättningsstorleken och för att ersätta utslaktade djur. Trots att den eftersträvande inkalvningsåldern för kvigor är 24 månader, kalvar många kvigor in vid en senare ålder. Om inkalvningsåldern försenas till 27 månader kommer metanutsläppen per kviga öka med 30 %. Dessutom ökar de totala utsläppen från besättningen med 6 %. Förbättrad fertilitet leder till minskade kalvnings- och lamningsintervall samt kortare sintidsperiod vilket reducerar både växthusgasutsläpp och produktionskostnader (Wall et al., 2009).

Bell et al. (2010) hävdade att mjölkkor, under sintidsperioden, är de minst effektiva med avseende på andelen smältbar energi som förloras i form av metangas. Under sintidsperioden utfodras kor vanligtvis med enbart grovfoder vilket orsakar ökade metanutsläpp. Förbättrad fertilitet kan leda till kortare sintidsperiod och därmed reducerade metanutsläpp per besättning och per liter mjölk genom en minskad mängd grovfoder i den årliga foderstaten (Garnsworthy 2004).

Den vanligaste sjukdomen hos nötkreatur i Sverige är juverinflammation (Andersson et al., 2010). Enligt författarnas rapport uppskattas bättre juverhälsa minska det årliga utsläppet av växthusgaser i Sverige med 9500 ton koldioxidekvivalenter. Eftersom djurens produktivitet är nedsatt vid nedsatt hälsotillstånd kan selektion för bättre djurhälsa och juverhälsa minimera

behandlingskostnaderna samt bidra till minskade växthusgasutsläpp och bättre djurvelfärd (Wall et al., 2009). I sin studie hävdade Wall et al. (2009) att förbättrade kalvnings- och modersegenskaper kan reducera utsläppen genom ökad överlevnad hos avkomman och därmed ett minskat djurbortfall.

## Diskussion

Syftet med denna litteraturstudie var att redogöra för hur husdjursavel kan leda till minskade utsläpp av växthusgaser från husdjur och därmed minskade klimatförändringar. Det kan konstateras att det finns en mängd olika egenskaper som påverkar växthusgasutsläpp från husdjur och som därför bör beaktas i avelsarbete för att reducera husdjurens växthusgasutsläpp. Jag anser att avelsmål och urval, för minskade växthusgasutsläpp från husdjur, ska innefatta egenskaper som leder till ökad fodereffektivitet och produktivitet samt bättre hälsa och fertilitet.

De foderegenskaper som jag anser är mest relevanta vid selektion för ökad fodereffektivitet och minskade växthusgasutsläpp från husdjur är dagligt foderintag och RFI eftersom de beräknades ha störst värden för arvbarhet enligt Arthur et al. (2001). Det har dock visat sig att arvbarheten för RFI varierar en del mellan olika studier. Jag förmodar att det främst beror på skillnader i fysiologiska processer hos djuren vilket Richardson och Herd (2004) hävdade i sin studie. Eftersom studien av Arthur et al. (2001) visade att RFI var starkt korrelerad till foderintag anser jag att selektion för lågt RFI är att föredra för att uppnå genetiska framsteg i djurens fodereffektivitet. I studien av Arthur et al. (2001) beräknades arvbarheten för foderomvandlingsförmåga vara relativt hög samt gynnsamt korrelerad till daglig tillväxt och RFI. Mrode et al. (1990) hävdade däremot att det var effektivare att selektera på kötttillväxt än på foderomvandlingsförmåga, med avseende på daglig tillväxtökning. Personligen anser jag att foderomvandlingsförmåga är en egenskap som bör ingå i avelsprogram för ökad fodereffektivitet och därmed minskade växthusgasutsläpp från husdjur.

Det är fastställt att genetisk variation förekommer i metanutsläpp mellan djur, med samma produktionsförutsättningar (Wall et al., 2009). Tillämpning av avel på djur som uppvisar låg metangasproduktion innebär dock praktiska svårigheter. Vid selektion på egenskaper som är svåra att mäta kan genomisk selektion vara ett alternativ (Scholtz et al., 2010). Jag tror att en utveckling av genomisk selektion på djur med låg metangasproduktion skulle ha stor betydelse för att minska metanutsläppen från animalieproduktionen. I studien nämns att hälsa och fertilitet är viktiga egenskaper att beakta för att minska husdjurens negativa klimatpåverkan. Det är dock svårt att uppnå genetiska framsteg på dessa egenskaper då de har låg arvbarhet (Philipsson, 1981). Jag anser därför att genomisk selektion på dessa egenskaper vore betydelsefullt. Fördelarna med att använda genomisk selektion, i istället för traditionell Best Linear Unbiased Prediction (BLUP), i mjölkkoaveln, är att det ger mycket kortare generationsintervall och kan fördubbla det årliga genetiska framsteget. Jämfört med BLUP ger genomisk avelsvärdering mer information och därmed en ökad säkerhet.

Det kan konstateras att hög produktivitet inom animalieproduktion är viktigt för att åstadkomma ett hållbart jordbruk och minskade växthusgasutsläpp. Vid avel för ökad produktivitet med syfte att minska husdjurens växthusgasutsläpp anser jag att eventuella negativa effekter på djurens hälsa måste beaktas. I studien nämns att avel för ökad mjölkavkastning leder till minskade metanutsläpp från mjölkkor men att korrelationen mellan hög mjölkavkastning och god fertilitet är ogynnsam (Roxström, 2001). Eftersom dålig fertilitet har negativ inverkan på metanutsläpp är det viktigt att den ogynnsamma korrelationen uppmärksammas vid avel för ökad mjölkavkastning. Jag anser att den ogynnsamma effekten kan motverkas genom att båda egenskaperna inkluderas i avelsurvalet.

Jag anser att korsningsavel kan vara tillämpligt för att åstadkomma mer produktiva djur. Eftersom kötraser har en bättre daglig tillväxt och ett effektivare foderutnyttjande än rena mjölkkraser (Andersson et al., 2010) kan korsning mellan mjölkkrasdjur och köttkrasdjur leda till mer produktiva djur och därmed ha en positiv inverkan på miljön. Exempelvis kan mjölkkor, med låga avelsvärden för mjölkproduktion, semineras med köttkrassperma för att öka köttproduktionen och minska foderbehovet hos avkomman. Genom att använda könssorterad sperma säkras man antalet rekryteringsdjur i en besättning vilket bidrar till att alla kvigor inte måste behållas för rekrytering. Endast kor som är friska samt produktiva och därmed mer miljövänliga, kan då behållas. För att få de rekryteringsdjur som behövs, i en besättning, semineras de kor som man vill behålla med könssorterad sperma. Resterande kor kan istället semineras med köttkrassperma och de avkommorna skickas sedan till slakt. Detta är positivt både med avseende på husdjurens negativa miljöpåverkan samt djurägens lönsamhet.

Studien har främst behandlat idisslare eftersom de producerar en betydligt större mängd metangas, jämfört med enkelmagade djur. Globalt sett bidrar mjölk- och köttproducerande kor med de största metangasutsläppen (Mosier et al., 1998). Idisslarnas digestionssystem är utvecklat för fermentering av vallfoder vilket är unikt för dem. Deras förmåga att omvandla vallfoder till kött och mjölk med hjälp av mikroorganismer är fascinerande och viktig för att tillgodose människans behov av föda. Gris och fjäderfäproduktion anses effektivare och mindre miljökadlig jämfört med produktionen av mjölk och kött från idisslare. Exempelvis kännetecknas slaktkycklingproduktionen av en mycket god foderomvandlingsförmåga men denna typ av produktionsform saknar dock andra miljönyttor (Andersson et al., 2010). Många idisslare i världen betar vilket bidrar till öppna landskap och en ökad biologisk mångfald. Beteshållning är negativt med avseende på växthusgasutsläpp men positivt för miljön med avseende på den biologiska mångfalden som uppstår. Intensiva produktionssystem anses oftast bättre än extensiva produktionssystem med avseende på växthusgasutsläpp men jag anser att det är viktigt att beakta andra miljönyttor som en viss produktionsform medför. De enkelmagade djuren utfodras främst med spannmål. Även människan är enkelmagad och kan därför konsumera spannmål direkt istället för att det ska vidareförädlas till kött. Däremot är människans digestionssystem inte utvecklat för att smälta svårlösliga växtdelar vilket idisslarnas är. Idisslarna betar gräs och håller därigenom landskapen öppna samtidigt som de är fantastiska foderomvandlare och bistår människan med värdefulla livsmedel.

Det kan konstateras att fodrets kvalitet, sammansättning och mängd påverkar husdjurens metanproduktion. Genom en ökad andel foder med hög smältbarhet i djurens foderstat kan metanproduktionen minska (McDonald et al., 2002). Trots detta anser jag att djurens hälsopåverkan måste uppmärksammas. Exempelvis kan en ökad mängd koncentrat i foderstaten leda till ett för lågt pH-värde i våmmen vilket kan orsaka acidosis som i sin tur medför problem vid fodersmältningen som resulterar i försämrad produktionsförmåga. Att minska metanutsläppen från husdjur genom utfodringsplanering är exempel på en kortsiktig lösning på miljöproblemet. Det är dock ovisst eftersom foderkvalitet och mängd varierar bland annat beroende på förutsättningarna vid skörd. Exempelvis kan dåliga väderförhållanden leda till en senarelagd skördetidpunkt vilket medför att fodrets näringsinnehåll försämras. När djuren intar ett foder med lågt näringsinnehåll och låg smältbarhet ökar metanproduktionen (Johnson och Johnson, 1995). Vid ökad mängd kraftfoder i djurens foderstat ökar troligtvis även produktionskostnaderna vilket är negativt för producenten.

Jag anser att husdjursavel är en fördelaktig metod för att reducera husdjurens metanutsläpp då det ger mer bestående och långsiktiga lösningar på klimatproblematiken. Avel som leder till

produktivare djur med bättre foderomvandlingsförmåga ökar dessutom lönsamheten inom animalieproduktionen eftersom djurens foderbehov minskar. Producenternas lönsamhet påverkas även positivt av selektion på hälsoegenskaper eftersom friskare djur leder till minskade veterinärkostnader, minskat produktpill samt mindre extrajobb med behandling av sjuka djur.

Personligen anser jag att det praktiska avelsarbetet på besättningsnivå har stor betydelse för att åstadkomma genetiska framsteg på egenskaper som minskar husdjurens växthusgasutsläpp. För Sveriges mjölkproducenter finns exempelvis kokontrollen där information om kornas härstamning, kalvningar och produktion kan registreras. Jag anser att det är väsentligt att Sveriges lantbrukare är anslutna till denna för att lyckas med avelsarbetet för mer produktiva och hälsosamma djur som leder till minskade växthusgasutsläpp. Det är dessutom betydelsefullt att djurägare använder sig av seminverksamheten då det bidrar till en positiv utveckling inom avelsområdet.

För att minska den negativa miljöpåverkan från animalieproduktionen, ur ett globalt perspektiv, anser jag det är av stor betydelse att utveckla avelsarbetet i u-länder eftersom det där finns många inhemska raser som är underutnyttjade (Philipsson, 2010 personligt meddelande). Där bör man främst jobba med att förbättra den bristande långsiktigheten, kompetensen och infrastrukturen.

## **Slutsats**

Det kan konstateras att husdjursavel är en användbar metod för att minska husdjurens utsläpp av växthusgaser. Det är en kostnadseffektiv teknik då det leder till bestående och kumulativa förändringar i djurens produktionsförmåga. Avel för effektivare foderutnyttjande, ökad produktivitet, bättre djurhälsa och fertilitet leder till minskade växthusgasutsläpp. Vid avel för minskad metanproduktion är det viktigt att beakta korrelationer mellan olika produktionsegenskaper då vissa egenskaper är ogynnsamt korrelerade. Användningen av genomisk selektion för att minska husdjurens utsläpp av växthusgaser borde utvecklas.

## **Litteraturförteckning**

- Abdel-Azim G. and Schnell S. 2007. Genetic Impacts of Using Female-Sorted Semen in Commercial and Nucleus Herds. *Journal of Dairy Science* 90, 1554-1563.
- Andersson R., Bång M., Frid G., Paulsson R. 2010. Minskade växtnäring förluster och växthusgasutsläpp till 2016 – förslag till handlingar för jordbruket. Jordbruksverket 2010, 10.
- Alford A.R., Hegarty R.S., Parnell P.F., Cacho O.J., Herd R.M., Griffith G.R. 2006. The impact of breeding to reduce residual feed intake on enteric methane emission from the Australian beef industry. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 46, 813-820.
- Arthur P.F., Archer J.A., Johnston D.J., Herd R.M., Richardson E.C., Parnell P.F. 2001. Genetic and phenotypic variance and covariance components for feed intake, feed efficiency, and other postweaning traits in Angus cattle. *Journal of Animal Science* 79, 2805-2811.

- Bell M.J., Wall E., Russel G., Morgan C., Simm G. 2010. Effect of breeding for milk yield, diet and management on enteric methane emissions from dairy cows. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 50, 817-826.
- Berry D. 2008. Improving feed efficiency in cattle with residual feed intake. In: 42<sup>nd</sup> University of Nottingham Feed Conference, 2-4 September 2008.  
[http://www.nottingham.ac.uk/feedconf/2008/abstracts\\_2008.pdf#page=11](http://www.nottingham.ac.uk/feedconf/2008/abstracts_2008.pdf#page=11)
- Beukes P.C., Gregorini P., Romera A.J., Levy G., Waghorn G.C. 2009. Improving production efficiency as a strategy to mitigate greenhouse gas emissions on pastoral dairy farms in New Zealand. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 136, 358-365.
- Blaxter K.L., Clapperton J.L. 1965. Prediction of the amount of methane produced by ruminants. *British Journal of Nutrition* 19, 511-522.
- Capper J.L., Cady R.A., Bauman D.E. 2009. The environmental impact of dairy production: 1944 compared with 2007. *Journal of Animal Science* 87, 2160-2167.
- Crutzen P.J., Aselmann I., Seiler W. 1986. Methane production by domestic animals, wild ruminants, other herbivorous fauna, and humans. *Tellus* 38B, 271-284.
- Dekkers J.C.M. 2010. Use of high-density marker genotyping for genetic improvement of livestock by genomic selection. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources* 5, No. 037.
- Farooq Iqbal M., Cheng Y., Zhu W. Zeshan B. 2008. Mitigation of ruminant methane production: current strategies, constraints and future options. *World J Microbiol Biotechnol* 24, 2747-2755.
- Ferris C.P., Gordon F.J., Patterson D.C., Porter M.G., Yan T. 1999. The effect of genetic merit and concentrate proportion in the diet on the nutrient utilization by lactating dairy cows. *Journal of Agricultural Science* 132, 483-490.
- Garnsworthy P.C. 2004. The environmental impact of fertility in dairy cows: a modelling approach to predict methane and ammonia emissions. *Animal Feed Science and Technology* 112, 211-223.
- Hayes B.J., Bowman P.J., Chamberlain A.J., Goddard M.E. 2009. Invited review: Genomic selection in dairy cattle: Progress and challenges. *Journal of Dairy Science* 92, 433-443.
- Hegarty R.S. 2004. Genotype differences and their impact on digestive tract function of ruminants: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 44, 459-467.
- Hegarty R.S and McEwan J.C. 2010. Genetic Opportunities to Reduce Enteric Methane Emissions from Ruminant Livestock, 1-8. April 2011.  
<http://www.kongressband.de/wcgalp2010/assets/pdf/0515.pdf>
- Hegarty R.S., Goopy J.P., Herd R.M., McCorkell B. 2007. Cattle selected for lower residual feed intake have reduced daily methane production. *Journal of animal science*. 85:1479-1486.

- Hoffman I. 2010. Climate change and the characterization, breeding and conservation of animal genetic resources. *International Society for Animal Genetics* 41, 32-46.
- Hyslop JJ. 2008. Simulating the global warming potential and ammonia emissions figures for a range of suckler herd breeding strategies and beef cattle finishing systems. In: *Livestock and Global Climate Change* (eds. P Rowlinson, M Steele, A Nefzaoui) 127-129. British Society of Animal Science, Hammamet, Tunisia.
- Johnson K.A., Johnson D.E. 1995. Methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science* 73, 2483-2492.
- Lassey K.R., Ulyatt M.J., Martin R.J., Walker C.F., Shelton I.D. 1997. Methane emissions measured directly from grazing livestock in New Zealand. *Atmospheric Environment* 31, 2905-2914.
- Lindhé B. 1997. Avel för hållbara kor. Fakta – Husdjur, 8. April 2011. [http://chaos.bibul.slu.se/sll/slu/fakta\\_husdjur/FHD97-08/FHD97-08.HTM](http://chaos.bibul.slu.se/sll/slu/fakta_husdjur/FHD97-08/FHD97-08.HTM)
- Martin C., Morgavi D.P., Doreau M. 2009. Methane mitigation in ruminants: from microbe to the farm scale. *The Animal Consortium* 4, 351-365.
- McDonald P., Edwards R .A., Greenhalgh J.F.D., Morgan C.A. 2002. Evaluation of foods: energy content of foods and the partition of food energy within the animal. In: *Animal Nutrition*, sixth edition, 263-291. Edinburgh Gate, Harlow, England.
- Mrode R.A., Smith C., Thompson R. 1990a. Selection for rate and efficiency of lean gain in Hereford cattle. 1. Evaluation of correlated responses. *Animal Production* 51, 23-24.
- Mrode R.A., Smith C., Thompson R. 1990b. Selection for rate and efficiency of lean gain in Hereford cattle. 2. Evaluation of correlated responses. *Animal Production* 51, 35-46.
- Mosier A.R., Duxbury J.M., Freney J.R., Heinmeyer O., Minami K., Johnson D.E. 1998. Mitigating agricultural emissions of methane. *Climatic Change* 40, 39-80.
- Pederson J., Kargo Sørensen M., Toivonen M., Eriksson J.Å., Pedersen Aamand G. 2008. Report on Economic Basis for a Nordic Total Merit Index. NAV.
- Philipsson J. 1981. Genetic aspects of female fertility in dairy cattle. *Livestock Production Science* 8, 307-319.
- Philipsson J. December 2010. Personligt meddelande. Professor vid institutionen för husdjursgenetik. SLU.
- Pinares-Patiño C.S., Ulyatt M.J., Lassey K.R., Barry T.N., Holmes C.W. 2003. Persistence of differences between sheep in methane emissions under generous grazing conditions. *Journal of Agricultural Science* 140, 227-233.
- Rege J.E.O., Marshall K., Notenbaert A., Ojango J.M.K., Okeyo A.M. 2011. Pro-poor animal improvement and breeding – What can science do? *Livestock Science* 136, 15-28.



- Reynolds C.K., Crompton L.A., Mills J.A.N. 2011. Improving the efficiency of energy utilization in cattle 51, 6-12.
- Richardson E.C., Herd R.M. 2004. Biological basis for variation in residual feed intake in beef cattle. 2. Synthesis of results following divergent selection. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 44, 431-440.
- Roxström A. (2001). Genetic aspects of fertility and longevity in dairy cattle. Doctorial thesis. Dept. of Animal Breeding and Genetics, Swedish University of Agricultural Science. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae*, vol 276.
- Scholtz M.M., McManus C., Mwai O., Seixas L., Louvandini H. 2010. Challenges and opportunities for beef production in developing countries of the southern hemisphere. *Proc. ICAR 37<sup>th</sup> Annual Meeting*, Riga, Latvia.
- Steinfeld H., Gerber P., Wassenaar T., Castel V., Rosales M., De Haan C. FAO 2006. *Livestock's long shadow – environmental issues and options*. 22-23.
- Vallimont J.E., Dechow C.D., Daubert J.M., Dekleva M.W., Blum J.W., Barlieb S.M., Liu W., Varga G.A., Heinrichs A.J., Baumrucker C.R. 2011. Genetic parameters of feed intake, production, body weight, body condition score, and selected type traits of Holstein cows commercial tie-stall barns. *Journal of Dairy Science* 93, 4892-4901.
- Vallimont J.E., Dechow C.D., Daubert J.M., Dekleva M.W., Blum J.W., Barlieb S.M., Liu W., Varga G.A., Heinrichs A.J., Baumrucker C.R. 2011. Short communication: Heritability of gross feed efficiency and associations with yield, intake, residual intake, body weight, and body condition score in 11 commercial Pennsylvania tie stalls. *Journal of Dairy Science* 94, 2108-2113
- Wall E., Brotherstone S., Woolliams J.A., Banos G., Coffey M.P. 2003. Genetic Evaluation of Fertility Using Direct and Correlated Traits. *Journal of dairy Science* 86, 4093-4102.
- Wall E., Simm G., Moran D. 2009. Developing breeding schemes to assist mitigation of greenhouse gas emissions. *Animal* 4, 366-376.