



Sveriges lantbruksuniversitet  
Swedish University of Agricultural Sciences

Fakulteten för veterinärmedicin och husdjursvetenskap  
Institutionen för husdjursgenetik

# Inverkan av inavel hos våra husdjur

**Johanna Viklund**

---

Examensarbete för kandidatexamen, 15 hp  
Agronomprogrammet – Husdjur  
Institutionen för husdjursgenetik, **513**  
Uppsala 2017

---



# Inverkan av inavel hos våra husdjur

## Impact of inbreeding in our farm animals

### Johanna Viklund

**Handledare:** Nils Lundeheim, SLU, Institutionen för husdjursgenetik

**Examinator:** Susanne Eriksson, SLU, Institutionen för husdjursgenetik

**Omfattning:** 15 hp

**Kurstitel:** Kandidatarbete i husdjursvetenskap

**Kurskod:** EX0553

**Program:** Agronomprogrammet - Husdjur

**Nivå:** Grund, G2E

**Utgivningsort:** Uppsala

**Utgivningsår:** 2017

**Serienamn, delnr:** Examensarbete / Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för husdjursgenetik, 513

**Nyckelord:** inavel, inavelsdepression, husdjur, ny inavel, gammal inavel

**Key words:** inbreeding, inbreeding depression, farm animals, new inbreeding, old inbreeding



## Sammanfattning

Inavel ökar antalet homozygota loci i populationen vilket ökar risken för att skadliga recessiva alleler kommer till uttryck. Detta påverkar individens fitness och kan leda till inavelsdepression. I denna litteraturstudie har inverkan av inavel hos våra husdjur sammanställts för att se om det finns några skillnader mellan arter och om det är någon skillnad i denna inverkan om inaveln är nyligen tillkommen (i individens senast föregående släktled) eller gammal (tillkommit längre tillbaka i individens släktled). Resultaten visade att avkommans tillväxthastighet minskade hos alla djurslag med en ökad inavelsgrad hos individen och hos de flesta minskade även avkommans överlevnad. Hos kor minskade även mjölmängden med ökad inavelsgrad och det redovisas också en ökning av antalet somatiska celler i mjölken och fall av mastit. Får fick lägre ullproduktion vid ökad inavel, men inga studier visade negativa effekter på kullstorlek vilket däremot det gjorde för grisar. Hos höns såg man en minskning av fertilitet, antal lagda ägg, äggvikt och en senare könsognad. Gammal inavel gav större effekt på inavelsdepression enligt studierna än vad ny inavel gjorde. Den totala inavelsgraden i populationen ökar däremot med ny inavel. Inavelsökningen bör hållas på låga nivåer då minskningen av genetisk variation är ett problem som försvårar en gynnsam framtida avel.

*Nyckelord:* inavel, inavelsdepression, husdjur, ny inavel, gammal inavel

## Abstract

Inbreeding leads to an increase in homozygote loci in a population, which increases the risk of deleterious recessive alleles being expressed. This affects the individuals' fitness and can lead to inbreeding depression. The aim of this study was to summarize the impact of inbreeding in our farm animals and define if there are any differences, and if there is a difference in this inbreeding if it is newly added (to the individual from the last generations) or old (added further back in population history). The results showed that the growth rate of the offspring decreased with an increase inbreeding rate in the individual within all studied species, and in most species also the survival of the offspring. Cows showed a decrease in milk yield, increase in somatic cells in the milk and cases of mastitis as a result of inbreeding. In sheep wool production decreased with increased inbreeding, but no studies showed negative effects on litter size. In pigs on the other hand an effect of inbreeding on litter size was found. In hens a decrease in fertility, egg number, egg weight and increase in age at sexual maturity was observed. Old inbreeding gave a greater effect in terms of inbreeding depression according to the studies than new inbreeding did. The total inbreeding however increased in the population with new inbreeding. Inbreeding rate should be kept at low levels as the reduction in genetic variation is a problem that will prevent a sustainable breeding in the future.

*Keyword:* inbreeding, inbreeding depression, farm animals, new inbreeding, old inbreeding

## Inledning

Inavel är ett begrepp som anspelar på parning mellan närbesläktade individer där genfrekvenserna i nästa generation blir mer lika varandra och ökar antalet homozygota loci. Detta ger bland annat en större risk för att skadliga recessiva alleler kommer till uttryck som i sin tur kan hämma individens vitalitet och reproduktion vilket då kallas inavelsdepression (Griffiths *et al.*, 2012). Egenskaper som fertilitet, antal avkommor, tillväxt och mjölkavkastning kallas generellt för fitnesssegenskaper och är de som främst påverkas negativt av inavel (Falconer & Mackay, 1996). Dessa fitnesssegenskaper har stort fokus i husdjursproduktionen vilket gör att en tilltagande inavelsgrad ökar riskerna att ge negativa effekter på djurets produktion och producentens ekonomi genom förlusterna den minskade produktiviteten innebär (Selvaggi *et al.*, 2010).

I detta arbete har resultat från olika studier sammanställts för att ta reda på vilken inverkan inavel har på våra husdjur; nötkreatur, grisar, får och tamhöns. Den varierande avelstrategi som finns idag med renrasig avel, korsningsavel, eller öppna/slutna populationer och de genetiska olikheterna mellan djurslagen, borde göra att det finnas en variation av inavelsdepression mellan husdjursarterna. Detta kan avgöra om man behöver vara mer observant på inavel för vissa arter och eventuellt lägga om avelsstrategin för dessa. En jämförelse har även gjorts mellan ny och gammal inavel för att se vad det har för betydelse för inavelsdepressionen. Med ny inavel räknas den inavel som sker inom de närmsta föregående generationerna och ökar inavelsgraden hos individerna, medan gammal inavel härstammar längre tillbaka i selektionsledet och är konstant i populationen (Falconer & Mackay, 1996) med möjligheter att rensa ur skadliga alleler över tiden (Reed *et al.*, 2002).

## Litteraturstudie

Det finns tre begrepp som inverkar på om inavelsdepression uppstår; partiell dominans, överdominans och epistasi (Roff, 2002; Köck *et al.*, 2009; Kristensen *et al.* 2010). Partiell dominans är när heterozygoter ger ett fenotyptryck som är intermediärt mellan de homozygota formerna (Griffiths *et al.*, 2012). Överdominans är när heterozygot genfrekvens är fenotypiskt överlägsen de båda homozygota genfrekvenserna (Mc Parland *et al.*, 2009). Epistasi är när alleler i ett locus påverkar alleler i andra loci och olika genfrekvenser kan därmed kombineras för att ge ett överlägset fenotyptryck (Kristensen *et al.* 2010). I grunden beror inavelsdepressionen på den ökade mängden homozygoter med förluster av alleler, som ger en minskad genetisk variation och skapar begränsningar i framtida avelsarbete (Kristensen *et al.* 2010).

Tidigare användes oftast inavel inom husdjursaveln för att öka alleler med goda effekter i populationen. Idag sker oftast en korsningsavel i produktionsledet för att få heterosis. I sådana korsningsprogram korsas selekterade raser/linjer med ett ökat antal heterozygota produktionsdjur som resultat (Falconer & Mackay, 1996). Om korsningsavel tillämpas så blir slutprodukten sällan inavlad då olika raser oftast är obesläktade (VanRaden, 1992). Däremot kan den renrasiga aveln som ligger bakom ett hållbart korsningsprogram, få negativa effekter på grund av inavel (Falconer & Mackay, 1996).

### Att beräkna inavelskoefficient

Inavelsgraden kan beräknas på individ- eller populationsnivå och anges med en inavelskoefficient (F). Koefficienten anger sannolikheten att två alleler i en individ är identiska genom nedärvning (Identical By Descent, IBD) (Griffiths *et al.*, 2012). Det finns olika metoder för att beräkna F och de vanligaste är klassiskt via härstamningsinformation (Griffiths *et al.*, 2012), eller genomiskt via Single Nucleotide Polymorphisms (SNP) eller mikrosateliter (Kim & Kirkpatrick, 2009).



Den generella formeln vid användning av härstamningsinformation är:

$$F_I = \sum \left(\frac{1}{2}\right)^n (1 + F_A)$$

där  $F_I$  är inavelskoefficienten för individen,  $n$  är antal individer mellan föräldradsju- ren och deras gemensamma förfäder och  $F_A$  är förfaderns inavelskoefficient (Falconer & Mackay, 1996; Griffiths *et al.*, 2012).

Det är även relevant att se till hur snabb inavelsökningen ( $\Delta F$ ) är. Inavelsgraden bör inte öka med mer än 1 % per generation för att bibehålla den genetiska variationen i populationen, vilket rapporterades i Jordbruksverkets delmål för husdjurs- genetiska resurser (Lannek, 2007). För att beräkna inavelsökningen för en populati- on använder man generellt formeln:

$$\Delta F = \frac{1}{2N_e}$$

där  $N_e$  är den effektiva populationsstorleken som är ett mått på antal individer i populationen vilka ger samma grad av inavel som i en ideal population och är alltid mindre eller lika med den totala populationsstorleken (Falconer & Mackay, 1996; Griffiths *et al.*, 2012). Lågt  $N_e$  ger högre risk för inavel (Analla, *et al.*, 1999) vilket man också kan se i formeln för  $\Delta F$ . I populationer där det finns få djur är det svårt att undvika parning av närbesläktade individer, vilket kommer leda till en snabb inavelsökning och minskad genetisk variation (Drobik & Martynuik, 2016). I en studie av belgiska kycklingraser gav till exempel ett  $N_e$  mindre än 50 ett  $\Delta F$  som är större än 1 % per generation (Larivière *et al.*, 2009). Formeln för  $N_e$  går att justera och måste anpassas på grund av olika faktorer som kan påverka inavelsökningen, till exempel ojämn könskvot, variation av antal individer i olika generationer eller variation av familjestorlek (Falconer & Mackay, 1996; Griffiths *et al.*, 2012).

## Ny och gammal inavel

Hinrichs *et al.* (2007) definierar inavel som tillkommit i individens 25 senaste ge- nerationer som ny, medan gammal inavel har inträffat tidigare i populationens histo- ria. Hos möss hade ökningen av ny inavel en större negativ effekt på inavelsdepress- ionen än gammal inavel vid samma totala inavelsgrad (Holt *et al.*, 2005). För den gamla inaveln finns det en större chans att skadliga alleler rensats ut (Reed *et al.*, 2002), till exempel genom att högt inavlade individer genom selektion tagits ur pro- duktion alternativt dött. Introduktionen av nya individer i en öppen population stop- par inavelsökning, men påverkar däremot inte graden av gammal inavel (Falconer & Mackay, 1996).

## Effekten av inavel

### Nötkreatur (*Bos taurus*)

Inom avel för nötkreatur är fitnesssegenskapen fertilitet en viktig faktor både inom mjölk- och köttproduktionen då slutprodukterna beror på att kon kalvar (Cassell, 2001). Detta gör att inavelsdepression kan ge stora negativa effekter för produktionen. Med en ökad inavelsgrad från 6,25 % till 12,5 % minskade mjölmängden för irländska Holstein-Friesians kor med 47 kg per laktation (Mc Parland *et al.*, 2007) och antal somatiska celler i mjölken och fall av mastit ökade med runt 0,87 % vid en medelinavel på 3,3 % vid första-, andra-, och tredje laktation hos danska Holsteinkor (Sørensen *et al.*, 2006). Mrode *et al.* (2004) ansåg att effekten av inavel för antal somatiska celler hos engelsk Holstein däremot var låg och att endast en hög inavel på exempelvis 25 % gav en signifikant negativ effekt. Detta även om inavelsökningen för de engelska och danska korna låg runt 1 % per generation (Kearney *et al.*, 2004; Sørensen *et al.*, 2005) vilket anses som en kritisk gräns (Lannek, 2007). Gulisija *et al.* (2006) såg inte heller någon ökning av antal somatiska celler vid en ökad inavelsgrad för amerikanska Jerseys där inavelsgraden varierade från 0,6 % till 34 %. Inavelsdepression bidrog däremot med ökat kalvningsintervall och vissa morfologiska förändringar som högre, smalare och mer kantiga kor i en studie av Mc Parland *et al.* (2007). En minskning av skrotums omkrets hos inavlade Augustjurar i en besättning har också påvisats, vilket indikerar en försämrad spermproduktion och därmed en minskad hanlig fertilitet (Carrillo & Siewerdt, 2009).

I en Angusbesättning som varit sluten i 70 år med en genomsnittlig inavelsgrad på ungefär 7 % observerades en minskad födelsevikt, avvänjningsvikt och daglig tillväxt vid ökad inavelsgrad, men forskarna för studien ansåg att inavelsgraden var tillräckligt låg och den genetiska vinsten tillräckligt stor för att minskningen inte skulle vara ett stort problem (Carrillo & Siewerdt, 2009). En liten, men signifikant minskning av slaktvikt och kroppsfett hos individer med en medelinavelsgrad på 1,35 % i nötkreatur ansågs inte heller ge så stora ekonomiska förluster att det skulle vara ett stort problem (Mc Parland *et al.*, 2008).

Olika effekter av gammal och ny inavel har också påvisats. Ny inavel visade sig ge ökad förekomst av dödfödda kalvar, medan äldre inavel minskade födelsevikten i en studie av Hinrichs *et al.*, (2014).

### Får (*Ovis aries*)

Hos fåren, liksom hos korna, observerades också en minskad viktökning hos avkomman vid ökad inavelsgrad. I flera studier fanns en minskning på lammvikt från

lammets födsel tills sista mätning vid avvänjning eller 100 dagar kopplat till inavelsdepression (Ercanbrack *et al.*, 1991; Analla *et al.*, 1998; Analla *et al.*, 1999; Van Wyk *et al.*, 2009; Pedrosa *et al.*, 2010; Selvaggi *et al.*, 2010; Drobik & Martynuik, 2016) och effekten av inavelsdepressionen verkade även öka med lammens ålder (Analla *et al.*, 1999; Drobik & Martynuik, 2016). Analla *et al.* (1998) såg däremot goda effekter på lammvikten vid utnyttjandet av heterosiseffekt genom att korsa olika linjer av Merinofår vilket kan indikera på att detta är en bra strategi inom avel.

Inavel hade inte någon signifikant effekt på kullstorleken (Analla *et al.*, 1998; Analla *et al.* 1999; Drobik & Martynuik, 2016) men däremot minskade ullproduktionen (Ercanbrack *et al.*, 1991) och andelen överlevande lamm (Drobik & Martynuik, 2016) med ökad inavelsgrad.

### Gris (*Sus domestica*)

Kommersiella grisraser är generellt känsliga för inavel på grund av deras relativt korta generationsintervall och höga reproduktionsförmåga, men brukssuggor påverkas oftast inte av inavel då de är korsningar mellan två raser, vanligtvis Lantras och Yorkshire, och får på så vis en heterosiseffekt (Uimari *et al.*, 2010).

Den genomsnittliga ökningen av inavelsgraden mellan 2005 och 2009 för finsk Yorkshire och Lantras var 11,5 % respektive 7,7 % vilket ger ett  $\Delta F$  på 0,8 % respektive 0,55 % per generation (Uimari & Tapio, 2011). Då inavelsökningen ligger under 1 % ansågs det inte som ett akut problem, men det behövs noggrann uppsikt över populationernas avelstrategi och storlek (Uimari & Tapio, 2011).

Vid en inavelsgrad på 10 % hos australienska yorkshiresuggor visades en negativ effekt på reproduktionen med ungefär 0,20 färre överlevande och avvanda smågrisar per kull (Köck *et al.*, 2009). I andra studier såg man en minskning av totalt antal levande födda smågrisar vid en ökad inavelsgrad hos ungersk Lantras och Yorkshire där inavelsgraden låg mellan 0 och 40 % (Farkas *et al.*, 2007). Man har också sett en minskad tillväxt hos spanska och portugisiska smågrisar hos individer med högre inavelsgrad (Fernández *et al.*, 2002), men däremot ingen effekt på dräktighetslängden (Farkas *et al.*, 2007).

Skillnader i effekten av gammal och ny inavel har även undersökts hos grisar. Både ny och gammal inavel minskade smågrisöverlevnad och gav något minskad kullstorlek för både Lantras och Yorkshire, där gammal inavel generellt hade större effekt på inavelsdepressionen (Köck *et al.*, 2009). Ny inavel gav dock vissa positiva effekter hos Lantrasgaltar, med avseende på ökad kullstorlek, ökat antal avvanda och överlevande smågrisar, vilket är ovanligt men kan eventuellt ha berott på snabb fixering av bra gener, alternativt vara en epistatisk effekt (Köck *et al.*, 2009). Fernández *et al.* (2002) visade däremot att inavel som skett mer nyligen gav minde effekt på smågrisens tillväxt än inavel från förfäder.

### Tamhöns (*Gallus gallus domesticus*)

I de produktionshybrider som används idag har över 50 % av allelerna försvunnit de senast 50 åren och på så sätt minskat den genetiska variationen (Muir *et al.*, 2008) och en ökning av andelen homozygota loci minskar möjligheterna att få bättre hybrider (Larivière *et al.*, 2009).

I inavlade linjer med stark selektion för äggvikt var inavelsgraden högre och effekten av inavelsdepression större med sämre fertilitet och senare kläckning, än för linjer selekterade för ökat antal lagda ägg och kombinerade linjer selekterade för båda dessa egenskaper (Sewalem *et al.*, 1999). I två studier av iranska inhemska hönsraser, från två skilda provinser med en medelinavelsgrad på 4,8 % respektive 4,67 %, fanns det negativ inverkan av ökad inavel med avseende på minskad kroppsvikt och ökad tid för könsmognad (Kamali *et al.*, 2007; Rahmanian *et al.* 2015). I Kamali *et al.* (2007) studie inföll könsmognaden 0,31 dagar senare och kroppsvikten var 0,51 gram lägre vid 12 veckor vid en inavelsökning på 1 %, medan i en studie av Rahmanian *et al.* (2015) inföll könsmognaden 0,15 dagar senare och kroppsvikten var 1,3 gram lägre vid 12 veckor men 3,1 gram lägre vid 8 veckor. Dessutom lades 0,5 ägg mindre (Kamali *et al.*, 2007) och äggvikten minskade (Rahmanian *et al.*, 2015) vid 1 % inavelsökning. Däremot ansåg Rahmanian *et al.* (2015) att medelinavelsgraden på 4,67 % var låg för att vara i en sluten population. Härstamningssinformationen baserades på 21 generationerna mellan 1992 och 2012 men var dock ofullständig de första 10 åren vilket gör att den verkliga inavelsgraden antagligen är högre, vilket gör att resultaten inte är fullt tillförlitliga.

## Diskussion

Kunskapen om att inavel påverkar husdjurens produktion negativt är inget nytt. Sverige har som nation ett rasbevarande ansvar och avelsorganisationer (ex. Växa Sverige, Svenska fåravelsförbundet och Nordic Genetics) ska kunna redovisa släktskap och hur inavel utvecklas inom en ras (Lannek, 2007).

Det rapporteras en del liknande negativa effekter inom alla husdjursarter. Avkommans tillväxtökning påverkades mer eller mindre negativt av inavel hos alla djurslag (Fernández *et al.*, 2002; Carrillo & Siewerdt, 2009; Hinrichs *et al.*, 2014; Rahmanian *et al.*, 2015; Drobik & Martynuik, 2016). För både får och gris gav ökad inavelsgrad en minskad överlevnad hos avkomman (Farkas *et al.*, 2007; Köck *et al.*, 2009; Drobik & Martynuik, 2016), vilket ger lägre kullstorlekar. Det föddes även färre grisar vid högre inavel, som i sin tur också påverkar kullstorleken (Köck *et al.*, 2009). Sådana resultat fanns däremot inte hos får (Analla *et al.*, 1999; Drobik & Martynuik, 2016).

När inavelsökningen var nära 1 % per generation observerades signifikanta negativa effekter för egenskaper som mjölmängd (Mc Parland *et al.*, 2007), celltal, mastit (Sørensen *et al.*, 2006) och antal överlevande och avvanda smågrisar (Köck *et al.*, 2009). Det indikerar att 1 % inavelsökning per generation verkar vara en rimlig gräns att ange från Jordbruksverkets sida (Lannek, 2007) även om vissa studier visade att denna inavelsökning inte gav någon effekt (Mrode *et al.*, 2004; Gulisija *et al.*, 2006). Att Gulisija *et al.* (2006) inte såg någon ökning av antal somatiska celler, som däremot Sørensen *et al.* (2006) gjorde, kan bero på rasskillnader mellan Holstein och Jersey. Då de flesta studier som gjorts är på Holstein går inget säkert att säga utan det skulle behövas fler studier av inavelns inverkan på antal somatiska celler inom flera rasers.

Även om man försöker undvika inavel inom husdjursproduktionen, så är lite inavel däremot svårt att komma ifrån i små, slutna populationer på grund av bristen på individer (Hinrichs *et al.*, 2007; Hinrichs *et al.*, 2014), men om den genetiska vinsten är tillräckligt stor och den ekonomiska förlusten är tillräckligt låg, så spelar

en viss reducering av egenskaper på grund av inavelsdepression ingen större roll (Mc Parland *et al.*, 2008; Carrillo & Siewerdt, 2009). Idag används som sagt oftast korsningsavel för att uppnå heterosis i slutprodukten, vilket gör att en viss inavel i de renrasiga linjerna inte har så stor betydelse om de hålls på låga nivåer.

I ett fåtal studier tas effekten av ny och gammal inavel upp (Fernández *et al.*, 2002; Köck *et al.*, 2009; Hinrichs *et al.*, 2014). Hinrichs *et al.* (2014) definierade i sin studie på tyska Holsteinkor ny inavel som när två alleler är homozygota för första gången och gammal inavel som homozygota alleler som uppstått längre tillbaka i släktledet. Studien visade att ny inavel ökade andelen dödfödda kalvar, medan gammal inavel reducerade födelsevikten (Hinrichs *et al.*, 2014). Smågrisar fick en minskad överlevnad oberoende på inavelns ålder, men gammal inavel hade generellt störst effekt på inavelsdepressionen (Fernández *et al.*, 2002; Köck *et al.*, 2009). I studien av Köck *et al.* (2009) gav ny inavel (inom de senaste fem generationerna) till och med positiva effekter hos Lantrasgaltar. Även då positiva effekter vid inavel är ovanliga, så kan det leda till att alleler med goda egenskaper bibehålls i populationen.

Att gammal inavel skulle ge större effekt på inavelsdepressionen är dock tvärtemot vad Holt *et al.* (2005) kom fram till i sin studie på möss där ny inavel gav större effekter. Det kan ha med arterna att göra där möss reagerar annorlunda gentemot kor och grisar eller bero på slump, men en helt klar slutsats är svår att dra baserat på så få studier. Generellt fanns det få relevanta studier där man tittat på ny och gammal inavel. Vad detta beror på är oklart, men möjligen anses skillnaderna inte vara så pass signifikanta att det finns anledning att lägga resurser på det. Liknande verkar inavelns effekt på morfologiska egenskaper vara. Dock finns även här några studier som nämner hur dessa påverkades av inavel med bland annat minskad ullproduktion (Ercanbrack *et al.*, 1991) och högre, smalare och mer kantiga mjölkkor (Mc Parland *et al.*, 2007). Dessa är inte fitnessegenskaper men verkar påverkas ändå. Ullproduktionen kan eventuellt förklaras med hård, ensidig selektion inom avelslinjen, medan förändringen i anatomiska mått skulle behöva undersökas mer.

Larivière *et al.* (2009) angav att, för att minska inaveln i hönspopulationen, bör den effektiva populationsstorleken hållas på en hög nivå och relationen mellan tuppar och honor på en jämn nivå, vilket bör efterföljas generellt inom all avel. Sørensen och Norberg (2008) ansåg att man skulle kunna minska inaveln inom fårproduktionen ytterligare genom att ha en större rotation på baggar mellan flockarna och importera mera avelsmaterial, som också är ett alternativ för andra arter.

Vid avelsvärdering är det även viktigt att ha med inavelsgraden som en korrigerande faktor. Det ger ett mer rättvist avelsvärde på djuren då en ökad inavel bidrar till försämrad produktion. Genom att korrigera för inavelsgraden direkt i avelsvärderingen kan man slippa onödiga förluster senare i produktionen och minska risken att få en ensidig genetisk variation.

Ofullständig härstamningsinformation som i Rahmanian *et al.* (2015) studie gör att inavelsgraden kan vara betydligt högre än vad som först beräknas. Detta kan göra att man avlar på allt för närbesläktade individer, men samtidigt kan effekter av inavel vid en felaktigt lägre inavelsgrad bli missvisande. Det kan i själva verket krävas betydligt högre inavelsgrader för att se signifikant negativa effekter. Vid mätningar med genetiska markörer kan man däremot undgå dessa felkällor.

Många olikheter finns inom litteraturen, men något som nämns genomgående är vikten av noggrann dokumentation av härstamning, fertilitet och produktionsegenskaper och fortsatt undersökning av inavelns inverkan. Det är viktigt att inavelsgraden hålls på relativt låga nivåer med inte för snabb ökning. Minskningen av genetisk variation är ett problem som i framtiden kommer förhindra en gynnsam avel (Van Wyk *et al.*, 2009) och hållbar djurhållning.

## Slutsats

Det finns skillnader mellan djurslagen i responsen på inavel vilket är något att ta i beaktning när man utarbetar avelsprogram. Avkommans vikt är det som genomgående påverkas negativt av inavel hos alla djurslag och likaså äggvikten hos höns. Med en ökad inavelsgrad minskade avkommans överlevnad hos får och grisar. Däremot påverkades inte kullstorleken hos får, medan grisar uppvisade en minskad kullstorlek vid ökad inavelsgrad. Hos mjölkkor ger inavel en minskad mjölmängd och ökat antal somatiska celler och fall av mastit. Gammal inavel verkar ha större effekt på inavelsdepressionen än ny som däremot ökar inavelsgraden i populationen. Fler studier skulle behöva göras inom området, men skillnader verkar finnas som till viss del varierar mellan djurslagen. Det skulle även vara intressant att se mer forskning på hur de morfologiska egenskaperna påverkas av inavel hos våra husdjur.



## Referenslista

- Analla, M., Montilla, J. M. & Serradilla, J. M. (1998). Analyses of lamb weight and ewe litter size in various lines of Spanish Merino sheep. *Small Ruminant Research*, vol. 29 (3) ss. 255-259.
- Analla, M., Montilla, J. M. & Serradilla, J. M. (1999). Study of the variability of the response to inbreeding for meat production in Merino sheep. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, vol. 116 (6) ss.481-488.
- Carrillo, J.A. & Siewerdt, F. (2009). Consequences of long-term inbreeding accumulation on preweaning traits in a closed nucleus Angus herd. *Journal of Animal Science*, vol. 88 (1), ss. 87-95. DOI: 10.2527/jas.2009-1897
- Cassell, B. G. (2001). Optimal genetic improvement for high producing com. *Journal of Dairy Science*, vol. 84 (E. Suppl.) E144-E150.
- Drobik, W. & Martyniuk, E. (2016). Inbreeding and its impact on the prolific Polish Olkuska sheep population. *Small Ruminant Research*, vol. 137, ss. 28-33.
- Ercanbrack, S. K. & Knight, A. D. (1991). Effects of inbreeding on reproduction and wool production of Rambouillet, Targhee, and Columbia ewes. *Journal of animal science*, vol. 69 (12) ss. 4734-4744.
- Falconer, D. S. & Mackay, T. F. C. (1996). *Introduction to quantitative genetics*. 4 uppl. Edinburgh Gate, Harlow. Longman Group Ltd.
- Farkas, J., Curik, I., Csató, L., Csörnyei, Z., Baumung, R. & Nagy, I. (2007). Bayesian inference of inbreeding effects on litter size and gestation length in Hungarian Landrace and Hungarian Large White pigs. *Livestock science*, vol. 112 (1) ss. 109-114.
- Fernández, A., Rodrigáñez, J., Toro, M. A., Rodríguez, M. C. & Silió, L. (2002). Inbreeding effects on the parameters of the growth function in three strains of Iberian pigs. *Journal of animal science*, vol. 80 (9) ss. 2267-2275.
- Griffiths, A. J. F., Wessler, S. R., Carroll, S. B. & Doebley, J. (2012). *Introduction to genetic analysis*. 10 uppl. New York. W.H. Freeman and company.
- Gulisija, D., Gianola, D., Weigel, K. A. & Toro, M. (2006). Between-founder heterogeneity in inbreeding depression for production in Jersey cows. *Livestock Science*, vol. 104 (3) ss. 2044-253.
- Hinrichs, D., Bennewitz, J., Wellman, R. & Thaller, G. (2014). Estimation of ancestral inbreeding effects on stillbirth, calving ease and birthweight in German Holstein dairy cattle. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, vol. 132 (1), ss. 59-67. DOI: 10.1111/jbg.12114
- Hinrichs, D., Meuwissen, T. H., Ødegard, J., Holt, M., Vangen, O. & Woolliams, J.A. (2007). Analysis of inbreeding depression in the first litter size of mice in a long-term selection experiment with respect to the age of the inbreeding. *Heredity*, vol. 99 (1) ss. 81-88.

- Holt, M., Meuwissen, T. & Vangen, O. (2005). The effect of fast created inbreeding on litter size and body weights in mice. *Genetics Selection Evolution*, vol. 37 (5) ss. 523-537.
- Kamali, M. A., Ghorbani, S. H., Moradi Sharbabak, M. & Zamiri, M. J. (2007). Heritabilities and genetic correlations of economic traits in Iranian native fowl and estimated genetic trend and inbreeding coefficients. *British Poultry Science*, vol. 48 (4) ss. 443-448. DOI: 10.1080/00071660701505013
- Kearney, J. F., Wall, E., Villanueva, B. & Coffey, M. P. (2004). Inbreeding trends and application of optimized selection in the UK Holstein population. *Journal of Dairy Science*, vol. 87 (10) ss. 3503-3509.
- Kim, E-S. & Kirkpatrick, B., W. (2009). Linkage disequilibrium in the North American Holstein population. *Animal genetics*, vol. 40 (3) ss. 279-288.
- Kristensen, T. N., Pedersen, K. S., Vermeulen, C. J. & Loeschcke, V. (2010). Research on inbreeding in the 'omic' era. *Trends in Ecology & Evolution*, vol. 25 (1) ss. 44-52.
- Köck, A., Fürst-Waltl, B. & Baumung, R. (2009). Effects of inbreeding on number of piglets born total, born alive, and weaned in Austrian Large White and Landrace pigs. *Archive für Tiererzucht*, vol. 52 (1) ss. 51-64.
- Lannek, J. (2007). *Delmål för husdjursgenetiska resurser åren 2010 till 2020*. Jönköping (Jordbruksverket rapport)
- Larivière, J.M., Detilleux, J. & Leroy, P. (2009) Estimates of inbreeding rates in forty traditional Belgian chicken breeds populations. *Archive für Geflügelkunde*, vol. 75 (1) ss.1-6.
- Mc Parland, S., Kearney, J.F. & Berry, D.P. (2009). Purging of inbreeding depression within the Irish Holstein-Friesian population. *Genetics Selection Evolution*, vol. 41 (1) 16. DOI: 10.1186/1297-9686-41-16
- Mc Parland, S., Kearney, J. F., MacHugh, D. E. & Berry, D. P. (2008). Inbreeding effects on post-weaning production traits, conformation, and calving performance in Irish beef cattle. *Journal of animal science*, vol. 86 (12) ss. 3338-3347.
- Mc Parland, S., Kearney, J. F., Rath, M. & Berry, D.P. (2007). Inbreeding effects on milk production, calving performance, fertility and confirmation in Irish Holstein-Friesians. *Journal of Dairy Science*, vol.90 (9), ss. 4411-4419.
- Mrode, R., Swanson, G. J. T. & Paget, M. F. (2004). Computing inbreeding coefficients and effects of inbreeding, heterosis and recombination loss on evaluations for lifespan and somatic cell count in UK. *Interbull*, vol. 32, ss. 109-112.
- Muir, W.M., Wong, G.K-S., Zhang, Y., Wang, J., Groenen, M.A.M., Crooijmans, R.P.M.A., Mengens, H.J., Zhang, H., Okimoto, R., Vereijken, A., Jungerius, A., Albers, G.A.A., Lawley, C.T., Delany, M.E., MacEachern, S. & Cheng, H.H. (2008). Genome-wide assessment of worldwide chicken SNP genetic diversity indicates significant absence of rare alleles in commercial breeds. *PNAS*, vol. 105 (45) ss. 17312-17317.
- Pedrosa, V. B., Santana, M. L., Oliveira, P. S., Eler, J. P. & Ferraz, J. B. S. (2010). Population structure and inbreeding effects on growth traits of Santa Inês sheep in Brazil. *Small Ruminant Research*, vol 93 (2) ss. 135-139.
- Rahmanian, A., Hafezian, H., Rahimi, G. H., Farhadi, A. & Baneh, H. (2015). Inbreeding depression for economically important traits of Mazandaran native fowls. *British Poultry Science*, vol. 56 (1) ss. 22-29. DOI:10.1080/00071668.2014.989490
- Reed, D. H., Lowe, E. H., Briscoe, D. A. & Frankham, R. (2002). Inbreeding and extinction: Effects of rate of inbreeding. *Conservation Genetics*, vol. 4 (3) ss. 405-410.
- Roff, D. A. (2002). Inbreeding depression: tests of the overdominance and partial dominance hypotheses. *Evolution*, vol. 56 (4) ss. 768-775.
- Selvaggi, M., Dario, C., Peretti, V., Ciotola, F., Carnicella, D. & Dario, M. (2010). Inbreeding depression in Leccese sheep. *Small Ruminant Research*, vol. 89 (1) ss. 42-46.

- Sewalem, A., Johansson, K., Wilhelmson, M. & Lillpers, K. (1999). Inbreeding and inbreeding depression on reproduction and production traits of White Leghorn lines selected for egg production traits. *British poultry science*, vol. 40 (2) ss. 203-208. DOI: 10.1080/00071669987601
- Sørensen, A. C., Madsen, P., Sørensen, M. K., & Berg, P. (2006). Udder health shows inbreeding depression in Danish Holsteins. *Journal of dairy science*, vol. 89 (10) ss. 4077-4082.
- Sørensen, A. C. & Norberg, E. (2008). Inbreeding in Danish populations of five Nordic sheep breeds. *Acta Agriculturae Scand Section A-Animal Science*, vol. 58 (1) ss. 1-4. DOI: 10.1080/09064700802079094
- Sørensen, A. C., Sørensen, M. K. & Berg, P. (2005). Inbreeding in Danish dairy cattle breeds. *Journal of dairy science*, vol. 88 (5) ss. 1865-1872.
- Uimari, P., Sevón-Aimonen, M-L. & Strandén, I. (2010). Pedigree analysis of Finnish Landrace and Yorkshire pig populations. *Proc. 9th World Congr. Genet. Appl. Livest. Prod.*, Leipzig, Gemany. CD-ROM.
- Uimari, P. & Tapio, M. (2011). Extent of linkage disequilibrium and effective population size in Finnish Landrace and Finnish Yorkshire pig breeds. *Journal of animal science*, vol. 89 (3) ss. 609-614.
- VanRaden, P. M. (1992). Accounting for inbreeding in genetic evaluation of large populations. *Journal of Dairy Science*, vol. 75 (11) ss. 3136-3144.
- Van Wyk, J. B., Fair, M. D. & Cloete, S. W. P. (2009). Case study: the effect of inbreeding on production and reproduction traits in Elsenburg Dormer sheep stud. *Livestock Science*, vol. 120 (3) ss. 218-224.

## Tack

Ett stort tack till Nils Lundeheim för fin handledning, bra kommunikation och härligt engagemang under arbetets gång. Även tack till Anna Wistedt för lugnande ord och hjälpsamma råd i skrivprocessen. Tack!