



Sveriges lantbruksuniversitet  
Fakulteten för veterinärmedicin och husdjursvetenskap

# **Genetisk variation i spermiekvalitet, och dess koppling till galtars fruktsamhet**

*Torun Wallgren*

---

Institutionen för husdjursgenetik  
Examensarbete 353  
Uppsala 2011

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

---





Sveriges lantbruksuniversitet  
Fakulteten för veterinärmedicin och husdjursvetenskap  
Institutionen för husdjursgenetik

## **Genetisk variation i spermiekvalitet, och dess koppling till galtars fruktsamhet**

Genetic variation in sperm quality, and its linkage to fertility in boars

*Torun Wallgren*

**Handledare:**

Nils Lundeheim, SLU, Institutionen för husdjursgenetik

**Examinator:**

Lotta Rydhmer, SLU, Institutionen för husdjursgenetik

**Omfattning:** 15 hp

**Kurstitel:** Kandidatarbete i husdjursvetenskap

**Kurskod:** EX0553

**Program:** Agronomprogrammet–Husdjur

**Nivå:** Grund, G2E

**Utgivningsort:** Uppsala

**Utgivningsår:** 2011

**Omslagsbild:**

**Serienamn, delnr:** Examensarbete 353

Institutionen för husdjursgenetik, SLU

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

**Nyckelord:** galt, fertilitet, spermiekvalitet och spermieegenskaper

**Key words:** boar, fertility, sperm quality and sperm traits



## Sammanfattning

Det finns många faktorer som påverkar galtens ejakulatkvalitet, t.ex. genetisk bakgrund och miljöfaktorer. Om det finns ett samband mellan ejakulatets kvalitet och galtens verkliga fruktsamhet kan man lätt skilja på bra och dåliga galtar, och därmed sälla bort galtar med dålig fruktsamhet. I Sverige kontrolleras idag alla ejakulat som skall gå till artificiell insemination för fem klassiska spermieegenskaper (volym, koncentration, motilitet, andelen onormala spermier och totala antalet spermier), för att få en uppfattning om ejakulatets kvalitet. Dock har det inte kunnat påvisas att dessa egenskaper har någon klar koppling till galtens verkliga fruktsamhet, även om de kan ge indikationer om den. Däremot har man kunnat koppla fertiliteten till spermiernas morfologi och dess s.k. kromatin-integritet. Dock kan de klassiska spermieegenskaperna ge en indikation på galtens och ejakulatets fruktsamhet vilket kan utnyttjas både bland bruksgaltarna och i avelsurvalet för spermakvalitet. Alla de klassiska spermieegenskaperna har arvbarheter som är tillräckligt höga för avelsurval och kan därför sättas in i avelsmålet, som ett mått på galtens fruktsamhet. Det skulle kunna säkerställa en god spermaproduktion i nästkommande generationer hos framförallt faderraserna, eftersom de idag främst selekteras på tillväxthastighet, foderomvandlingsförmåga och köttighet vilka har visat sig ha en negativ genetisk koppling till spermakvaliteten i ejakulatet.

## Abstract

There are many factors affecting the quality of the ejaculate, both genetic and environmental. If there were linkages between the quality of the ejaculate and the boar's actual fertility, one could easily separate good and bad boars. That could make the pig breeding more efficient. Today, all ejaculates for artificial insemination in Sweden are screened for five classical sperm traits (volume, concentration, motility, percentage of abnormal sperm and the total amount of spermatozoa), to get an opinion of the quality of the ejaculate. However, no relations have been detected amongst the classical sperm traits and the ejaculates true fertility rate, even though they can give an indication of the fertility of the ejaculate. On the other hand, the fertility (if the sow gets pregnant or not) of the ejaculate has been linked to the sperm morphology and the integrity of the chromatin in the spermatozoa. However, the classical sperm traits can give an indication of the fertility rate in the ejaculate, and thereby be used in breeding for sperm quality. All of the classical sperm traits have estimates of heritabilities that make them suitable for selection, and can therefore be included in the breeding program, as a measurement of the boar fertility. That could secure a good sperm production in generations to come, especially in the sire-line breeds, since they are, today, mainly selected for growth rate, food conversion rate and proportion of meat, which has been found to be genetically negative correlated to the quality of the spermatozoa in the ejaculate.

## Introduktion

Hög reproduktionseffektivitet (stora kullar, jämnstora smågrisar, och låg förekomst av omlöpningar) är viktigt inom grisproduktionen, och genom att producera fler vitala smågrisar per sugga kan man få en ökad ekonomisk vinst (Rothschild, 1996). Genom artificiell insemination (AI) kan man fördela ett ejakulat på flera semindoser, vilket gör att de utvalda galtarna kan användas till fler suggor, än om enbart naturlig betäckning skulle användas. Därför är det även viktigt ur ekonomisk synvinkel att man vet den funktionella variationen inom ejakulat (Tardif et al., 1999) så att det blir möjligt att optimera semindoserna ytterligare. Hittills har dock den hanliga fruktsamheten varit något förbisedd i jämförelse med den honliga (Rothschild, 1996).

Det är känt att variationen i spermieegenskaper har en viss ärftlig bakgrund (Smital et al., 2005; Wolf, 2009) och därigenom kan genetisk utvärdering av spermieegenskaper och selektion via avelsvärden bli möjliga (Wolf & Smital, 2009). Som Flowers (2008) visat finns det dessutom finns stora variationer i spermaproduktion mellan olika genotyper. Sonderman och Luebbe (2008) visade även skillnader mellan galtar i hur stor andel av de inseminerade hondjuret som grisat efter insemination (dräktighetsprocent, grisningsprocent) och kunde därmed påvisa att det finns fenotypiska skillnader mellan galtar gällande fertiliteten i ejakulaten. Samma studie visade också att det fanns skillnader i hur semindoser från olika raser klarade olika typer av lagring innan insemination.

Enligt Robinson och Buhr (2005) är en betydande del av de galtar som tas ur seminproduktionen undermåliga i spermakvaliteten. Genetiska samband mellan fruktsamhet och spermakvalitet skulle via selektion kunna säkra produktionen och öka lönsamheten hos galtar (Smital et al., 2005). Kan man identifiera och förbättra den genetiska kapaciteten för spermieproduktion och kvalitet kan man öka den reproduktiva förmågan (Safranski, 2008). Syftet med den här litteraturstudien är att sammanställa hur den genetiska variationen i spermakvalitet ser ut, och hur denna kan kopplas till fruktsamhet, såsom dräktighetsprocent per insemination och kullstorlek. Kan man identifiera den genetiska variationen i spermiekvalitet och finna mätbara parametrar i ett ejakulat som är kopplade till galtens fertilitet kan man på så sätt förbättra fertiliteten i de semindoser som bereds. Det skulle även kunna användas till selektion för reproduktionseffektivitet hos galtar, och användas som ett mått för galtars fruktsamhet.

## **Spermakvaliteten**

### **Ett ejakulat**

Ejakulatvolymen hos galt är stor jämfört med våra övriga produktionsdjur, och består i genomsnitt av 200-250 ml sperma (Senger, 2003a; Lärn-Nilsson et al., 2007), innehållandes mellan 60 och 100 miljarder spermier (Wallgren, 2011 personligt meddelande). Galtens dagliga spermieproduktion är svårpåverkad och uppgår till 16 miljarder spermier oberoende av hur ofta den samlas (Senger, 2003b; Wallgren, 2011 personligt meddelande).

Galtens ejakulat är fraktionerat, med tre delar (Wallgren, 2011 personligt meddelande). Den första fraktionen består främst av prostatasekret, den andra fraktionen kommer från bitestiklarna och är den huvudsakliga spermierika fraktionen. Den tredje fraktionen kallas efterfraktion och kommer från galtens sädesblåsor och prostata. I slutet av ejakulationen lämnar galten en geléliknande delmängd från bulbo-urethralkörtlarna.

Efter spermasamling av galten på galtstation mäts volymen av ejakulatet, och spermiernas motilitet bedöms i ett mikroskop (Senger, 2003b). Motiliteten avser andelen spermier som visar en progressiv rörelse framåt (Senger, 2003b), och förekomsten av t.ex. hypermotilitet och cirkelrörelser (Wallgren, 2011 personligt meddelande). Motiliteten i ejakulatet måste överstiga 70 % för att det skall vara dugligt till semindoser (Wallgren, 2011 personligt meddelande). En studie av Brandt & Grandjot (1998) visade dock att 90 % av alla undersökta galtar en spermimotilitet mellan 70-80%. Ejakulatets koncentration bedöms antingen med hjälp av en fotometer (Senger, 2003b), eller genom spädning och sammanräkning av antalet spermier med hjälp av en Bürkerkammare, flödescytometer eller CASA (computerized assisted semen analysis) (Wallgren, 2011 personligt meddelande). När man vet koncentrationen kan man späda ejakulatet och bereda semindoser med givet antal normala spermier per dos (Senger, 2003b). Ejakulatet späds med en spädningssväska vars främsta uppgifter är att buffra pH, utöka volymen, ge energi samt skydda spermierna från en

köldchock vid förvaringen (Senger, 2003b). Eftersom både seminalplasman (sperman, utan att inräkna själva spermier) och spädningssvätskan även är ett utmärkt medium för mikroorganismer och bakterier tillsätts antibiotika för att hämma tillväxt av oönskade mikroorganismer (Senger, 2003b). Till produktion av avelsdjur i Sverige används endast singelejakulat (sperma från enskilda galtar) medan man till slaktsvinsproduktionen istället använder bland sperma från flera olika galtar (Wallgren, 2011 personligt meddelande). Blandspersedoserna är lättare att bereda, då man inte måste behandla varje galtejakulat för sig.

### **Semindosen & dess distribuering**

I Sverige finns två stora avelsföretag, Quality Genetics (QG) och Avelspoolen, vilka distribuerar 600,000 respektive 225,000 doser per år (Avelspoolen, 2011; Quality Genetics, 2011). Båda avelsföretagen har egna seminestationer där avelsgaltarna står. Avelsgaltarna kommer från speciella avelsbesättningar som producerar renrasiga djur. För att välja vilka galtar som skall tas in i produktionen skickar avelsbesättningarna 6-7 veckor gamla galtar till en speciell teststation där de bästa djuren (de som är friska, har god exteriör och bra tillväxt) väljs ut och går vidare till seminestationerna vid ca 240 dagars ålder (Wallgren, 2011 personligt meddelande). Innan de tas in i produktionen står de i karantän 30 dagar, och samlas således första gången först vid 8-9 månaders ålder (Wallgren, 2011 personligt meddelande). Hos QG står lantras och yorkshiredjuren i snitt 3 månader och Hampshiregaltarna ungefär 6 månader innan de byts ut till fördel för nya djur (Wallgren, 2011 personligt meddelande).

Idag inseminerar man främst med färsk sperma, som levereras från seminestationerna i färdiga doser. Semindosen har en volym av ca 80 ml, innehållandes 2,3 (blanddoser) eller 2,5-3 (singelejakulatdoser) miljarder spermier (Wallgren, 2011 personligt meddelande). Det är viktigt att semindosen inte blir för liten, så att kontraktioner i livmodern kan stimuleras, och spermietransporten inte påverkas negativt (Wallgren, 2011 personligt meddelande).

Fruktbarheten i semindosen sjunker efter beredningen, beroende på vilken temperatur och spädningssvätska som använts (Senger, 2003b). Brandt och Grandjot (1998) visade att spermans ålder har en signifikant effekt på kullstorleken och grisningsprocenten, och att sperman får minskad befruktningsevne två dagar efter samling. Samma studie visade också att sperma som fått stå en dag, och inte blandats med spädningssvätska, minskade totala antalet födda, och även antalet levande födda smågrisar i kullen. I Sverige används bland annat **Beltsville Thawing Solution**, (BTS) som gör att dosen håller befruktningsevne egenskaper i tre dagar, i en omgivningstemperatur mellan 17-23°C (Wallgren, 2011 personligt meddelande). Olika seminiföretag använder olika spädningssvätskor, och beroende på spädningssvätskan kan semindosen hålla befruktningsevne egenskaper under olika lång tid (Wallgren, 2011 personligt meddelande). Safranski (2008) har funnit att det är vanligt att semindoser innehåller för mycket spermier, vilket kan anses onödigt.

### **Spermieegenskaper och dess betydelse**

Spermakvaliteten mäts idag till stor del via spermiernas egenskaper. Spermieegenskaperna kan mätas på många olika sätt, men de fem mått som är vanligast att undersöka är: spermavolym, spermiekoncentration, rörelsevne, antal onormala spermier samt det totala antalet spermier i ejakulatet. Från denna information kan man sedan räkna ut antalet semindoser som kan beredas. Även sperman kontrolleras, så att den inte innehåller smuts eller andra främmande ämnen.

## **Spermavolym**

Spermavolymen är hela ejakulatet i milliliter, den skattas genom vägning av ejakulatet som då innehåller delar ur alla fraktioner (Wallgren, 2011 personligt meddelande). Uppsamlingsstekniken är sådan att man undviker att samla gelén från bulbo-urethralkörtlarna, samt att man i början av samlingen inte samlar de första millilitrarna av ejakulatet för att förhindra kontaminering av t.ex. bakterier eller smuts (Wallgren, 2011 personligt meddelande). Vid en betäckning har ejakulatets volym betydelse för att starta livmoderns kontraktioner (Wallgren, 2011 personligt meddelande)

## **Spermiekoncentration**

Spermiekoncentrationen anges oftast som tusentals spermier per mikroliter (Wolf & Smital, 2009; Smital et al., 2004) och skattas med en fotometer, genom att jämföra den optiska densiteten med ett standardprov. Sedan bestäms koncentrationen med hjälp av en standardkurva, vilken plottar optisk densitet mot koncentration (Senger, 2003b) Koncentrationen kan även mätas genom att räkna antalet spermier mikroskopiskt i Bürkerkammare eller CASA (Wallgren, 2011 personligt meddelande). Koncentrationen av spermier har betydelse för att räkna ut antalet spermier i ejakulatet.

## **Motilitet**

Motiliteten hos spermerna i ett ejakulat innefattar vanligen både progressiv rörelse framåt (Senger, 2003b) och onormala rörelser, som t.ex. cirkelrörelse, eller hyperaktiva spermier (Wallgren, 2011 personligt meddelande). Motiliteten beskrivs i procent (Wolf och Smital, 2009; Smital et al., 2004) och bedöms vanligen direkt efter samlingen vid 37°C i ett mikroskåp med faskontrastoptik (Senger, 2003b). En hög motilitet indikerar hög kvalitet (Senger, 2003b) och skall vara minst 70 % för beredning av semindoser i Sverige (Wallgren, 2011 personligt meddelande). Även ett ejakulat med för hög andel spermier med onormala rörelsemönster kasseras.

## **Morfologiska undersökningar**

Potentiell fertilitet hos handjur kan delvis kopplas till andelen morfologiskt onormala spermier (Senger, 2003b). Vid morfologiska undersökningar kontrolleras spermerna och sperman genom mikroskopisk undersökning (Wallgren, 2011 personligt meddelande). I sperman undersöker man förekomsten av främmande celler, som epitelceller, bitestikelceller, spermatogenetiska (testikelepitelceller) celler eller inflammatoriska celler hos sperman (Wallgren, 2011 personligt meddelande). Hos spermerna letar man efter onormala spermier.

## **Onormala spermier**

Andelen onormala spermier anges vanligen i procent, och visar andelen deformerade eller på annat vis förändrade spermier (Smital et al., 2005). Morfologiskt onormala spermier är spermier som avviker från det normala (Senger, 2003b). Senger (2003b) beskrev att fertiliteten för ett ejakulat kan minska om andelen onormala spermier i ett ejakulat överstiger 20 %. Samma författare påpekade dock att det är normalt med 5-15 % onormala spermier i ett ejakulat, och att inte alla morfologiska avvikelser påverkar fertiliteten negativt.

## **Totala antalet spermier och antal semindoser per ejakulat**

Man räknar ut det totala antalet spermier i ejakulatet genom vetskapen om spermavolym och spermakoncentration. Genom att multiplicera volymen med koncentrationen får man enkelt det totala antalet spermier i ejakulatet (Senger, 2003a; Smital et al., 2004).



Beroende på spermavolymen, spermakoncentrationen samt spermiernas kvalitet kan man beräkna hur många semindoser som kan beredas med hjälp av följande formel:

$$SD = \frac{(Totala\ antalet\ spermier * [(Andel\ rörliga\ spermier) * (andel\ normala\ spermier)])}{2,3}$$

SD=Antal semindoser. Totala antalet spermier anges i miljarder ( $10^9$ ). Formeln är modifierad från Smital et al. (2005)

## Kan spermakvaliteten kopplas till fruktsamhet

### **Vad är fruktsamhet**

I Sverige är aveln för hanlig fruktsamhet obefintlig. I Norsvins avelsprogram för faderrasen duroc ingår kullstorlek (antal levande föda i suggans första kull) med 4 %, vilken endast ger ett mått på den honliga fruktsamheten (Avelspoolen, 2011). Quality Genetics faderras, hampshire, avlas däremot endast för produktionsegenskaper, som tillväxt och foderomvandlingsförmåga, samt för exteriör och hållbarhet, som bra benställning etc. (Quality Genetics, 2011). Modersraserna avlas däremot på fruktsamhet, som innefattar egenskaper som kullstorlek, korta intervaller mellan grisning och avvänjning samt hög kullvikt vid tre veckor som mål (Avelspoolen, 2011; Quality Genetics, 2011).

Enligt Senger (2003b) bestäms hanens potentiella fruktsamhet av hans spermaproducerande förmåga, viabiliteten hos de producerade spermerna, antalet onormala spermier och antalet funktionella spermier i ejakulatet, men påverkas även av könsdriften. Fruktsamhetsmått där galten kan tänkas inverka är kullstorlek (totala antalet födda, antalet levande födda, och antalet dödfödda), omlöpningsfrekvens, grigningsprocent och dräktighetsprocent (Lundeheim, 2011 personligt meddelande). Med grigningsprocent menas andelen av betäckta gyltor/suggor som grisar in (Tsakmakidis et al., 2010).

### **Spermiekvalitet och fruktsamhet**

I en studie undersöktes 7 galtar med avseende på spermiekvalitetens påverkan på grigningsprocent och kullstorlek för att få ett mått på galtens fertilitet (Tsakmakidis et al., 2010). Studien visade att vanliga spermieegenskaper (spermavolym, spermiekoncentration, spermimotoilitet, andelen onormala spermier och totala antalet spermier) oftast inte är direkt kopplade till fertiliteten, och det kunde heller inte påvisas att antalet levande smågrisar var signifikant korrelerat till spermiekvaliteten. Det överrensstämmer med en studie av Smital et al. (2004) som visade att antal levande smågrisar inte kunde kopplas till andelen onormala spermier i ejakulatet. Tsakmakidis et al. (2010) kunde dock visa att galtars grigningsprocent varierade, men inte storleken på deras kullar. Samma studie visade även att det fanns en svag genetisk korrelation mellan grigningsprocent och antalet födda. Mellan dessa galtar skiljde sig levande morfologiskt normala spermier och kromatinintegriteten signifikant och sågs ha en effekt på grigningsprocenten. När dessa spermieegenskaper kombinerades, kunde man se att de var signifikant korrelerade med grigningsprocenten. Idag är både grigningsprocent och kullstorlek viktiga indikatorer på honlig fertilitet i avelsprogrammen, men inga av de klassiska spermieegenskaperna kan förutspå fertiliteten (Tsakmakidis et al., 2010). Dock kan man genom att undersöka de klassiska spermieegenskaperna hitta ejakulat med låg fertilitetspotential, trots att man inte kan förutspå den faktiska fertiliteten (Tsakmakidis et al., 2010)

Antalet beredda semindoser per ejakulat och antalet levande födda, samt totala antalet födda hade en något negativ genetisk korrelation (Smital et al., 2005). Dock bör det beaktas att de i

detta försök beredde semindoser med  $1,5 \cdot 10^9$  spermier per dos, vilket är något lägre koncentration än i en normal svensk dos.

## Variation i spermiekvalitet

### Arvbarheter för spermaegenskaperna

Som man kan se i tabell 1 har flera olika studier skattat arvbarheterna hos de flesta av de klassiska spermieegenskaperna, samt grisningsprocent, med olika resultat. Trots att olika studier skattat olika höga arvbarheter kan man se att arvbarheterna genomgående är relativt höga och därmed användbara för selektion. Wolfs (2009) studie skiljde sig något från de andra studierna eftersom han undersökta faderraserna enskilt, medan de andra studierna undersökte både fader- och modersraser. Det kan vara av intresse då en framtida selektion för galtfertilitet kan komma att vara särskilt intressant för just faderraserna. Genomgående för Wolfs (2009) försök var att de skattade arvbarheterna för faderrasernas spermieegenskaper var något högre än för moderrasernas, bortsett från motiliteten, vilken var marginellt högre för moderraserna.

Tabell 1. Skattade arvbarheter över spermieegenskapers och fertilitetsparametrars arvbarheter ( $h^2$ ) från olika studier där CLW = tjeckisk yorkshire, CL = tjeckisk lantras, PBP = prestige black pied, CM = tjeckisk köttras, H = hampshire, D = duroc, PN = pietrain, sLW = large white/yorkshire faderraslinje, BL = belgisk lantras, SL = svensk lantras, CL = tjeckisk yorkshire modersraslinje

Egenskap	$h^2$	Raser	Författare
<b>Spermavolym</b>	0,58	CLW, CL, PBP, CM, H, D, PN, sLW, BL, HxPN, CMxPN, DxPN, CLAxD, DxH, SLxPN, CLAxH, CLAxPN	Smital et al. (2005)
	0,25	D, LW, CM, PN	Wolf (2009)
	0,21	CLW, CL	Wolf (2009)
	0,14–0,18	Ej Specificerat	Brandt & Grandjot (1998)
<b>Spermiekoncentration</b>	0,49		Smital et al. (2005)
	0,23		Wolf (2009)
	0,17		Wolf (2009)
<b>Motilitet</b>	0,38		Smital et al. (2005)
	0,08		Wolf (2009)
	0,14		Wolf (2009)
	0,05		Brandt & Grandjot (1998)
<b>Andel onormala spermier</b>	0,34		Smital et al. (2005)
	0,17		Wolf (2009)
	0,06		Wolf (2009)
<b>Grisningsprocent</b>	0,29		Smital et al. (2005)

### Genetiska korrelationer mellan spermieegenskaper

Flera olika studier skattar de genetiska korrelationerna mellan olika spermieegenskaper, se tabell 2. Flera studier har visat höga negativa korrelationer mellan spermavolymen och spermiekoncentrationen (Smital et al., 2005; Smital & Wolf, 2009). Det betyder att man inte endast kan avla för en högre spermavolym, eftersom det endast skulle leda till en utspädningseffekt (lägre koncentration). Smital et al. (2005) visade dock en hög positiv korrelation mellan totala antalet spermier och volymen på ejakulatet, dvs. att en högre volym gav ett högre antal spermier. Därför bör man heller inte utesluta avel för spermavolym, vilken

är en bra kandidat för selektion på grund av sin höga arvbarhet. Vidare har även negativa korrelationer mellan andel onormala spermier och motilitet påvisats, där en hög andel onormala spermier verkar försämrar motiliteten i ejakulatet, vilket även stöds av (Smital et al., 2005; Wolf, 2009). Smital et al. (2005) kunde dessutom påvisa att andelen rörliga spermier var positivt korrelerat med antalet födda smågrisar, grisningsprocent och antal levande födda. Wolf (2009) pekade på att motiliteten hos spermerna är närmast opåverkad av ejakulatets volym och koncentration, på grund av den låga korrelationen samt att korrelationer mellan permanenta miljöeffekter var nära noll och kan anses försumbara.

Tabell 2. Tabell över genetiska korrelationer mellan spermieegenskaper från olika studier

<b>Egenskaper</b>	<b>Korrelation</b>	<b>Författare</b>
<b>Volym/koncentration</b>	- 0,69	Wolf (2009)
	- 0,6	Smital & Wolf (2009)
	- 0,61	Smital et al. (2005)
<b>Motilitet/andelen onormala spermier</b>	- 0,59- -0,93	Wolf (2009)
	-0,34	Smital et al. (2005)
<b>Totalt antal spermier/volym</b>	-0,57	Smital & Wolf (2009)
	0,63	Smital et al. (2005)
<b>Volym/ daglig tillväxt</b>	-0,17 - -0,21	Brandt & Grandjot (1998)
<b>Koncentration/ daglig tillväxt</b>	-0,2-0,3	Brandt & Grandjot (1998)
<b>Motilitet/ daglig tillväxt</b>	-0,32 - -0,62	Brandt & Grandjot (1998)

## **Skillnader mellan raser och korsningar**

Sonderman och Luebbe (2008) visade skillnader mellan raser gällande spermans hållbarhet och fertilitet. Fertiliteten i studien undersöktes genom att registrera grisningsprocent, där duroc hade högst antal grisningar och yorkshire och lantras hade lägst. Men det kunde inte påvisas att en enskild ras var bättre än en annan, när det gäller spermieproduktionen i stort (de klassiska spermieegenskaperna samt antalet livskraftiga spermier) (Smital et al., 2004). Det har också visats att korsningsgaltar producerar sperma med högre kvantitet och kvalitet, än renrasiga djur (Smital et al., 2004; Flowers, 2008; Sonderman & Luebbe, 2008). Smital et al. (2004) kunde i sina försök dessutom påvisa att skillnaderna främst berodde på de genetiska olikheterna och inte på miljöskillnader. Sonderman och Luebbe (2008) visade att de renrasiga faderraserna (duroc, hampshire) producerade bättre sperma än de renrasiga moderraserna (lantras, yorkshire).

Sonderman och Luebbe (2008) har visat att olika raser reagerar olika på t.ex. säsongförändringar. Samma studie visade även att olika raser hade olika interaktioner mellan spermproduktion och ålder, och producerade olika mycket under olika delar av livet. Dessutom påvisade de att raser skiljde sig gällande könsdrift och ålder då de nådde puberteten, vilket stöds av Flowers (2008). Studier har visat på fertilitetsskillnader mellan raser gällande grisningsprocenten, vilken låg runt 71,8 % för lantras, 73,8 % för yorkshire och 78,1 % hos duroc (Sonderman & Luebbe, 2008). Skillnaderna behöver dock inte bara bero på den genetiska bakgrunden hos raserna, utan även i eventuella skillnader mellan hur man kunde lagra och hantera de olika spermerna innan inseminering. Resultaten föranledde ändock att författarna spekulerade i om moderraserna var mer känsliga för suboptimal spermahantering och lagring än faderraserna (Sonderman & Luebbe, 2008).

En studie av Smital et al. (2004) undersökte skillnader mellan renrasiga och korsningsdjur med avseende på spermiekvalitet. Studien visade att heterosiseffekten för spermavolym är ganska hög, mellan 10-30%, och statistiskt signifikant för alla de undersökta korsningarna, vilket betyder att korsningar tycks ha bättre spermproduktion än renrasiga djur. De

korsningar som undersöktes var tjeckisk lantras x duroc, tjeckisk köttras x pietrain, duroc x hampshire, duroc x pietrain, hampshire x pietrain, samt renrasiga djur av respektive ras och renrasiga tjeckisk yorkshire, yorkshire och přeštice. Studien visade att tjeckisk lantras x duroc hade lägst heterosiseffekt och duroc x pietrain högst heterosiseffekt. Heterosiseffekten för totala antalet spermier var något mindre än för volym. Vidare var nästan alla rasskillnader för det totala antalet spermier signifikant skiljda. Undantagen var mellan pietrain och přeštice black-pied samt tjeckisk köttras och pietrain.

### **Kromosomtranslokation**

Det finns flera typer av kromosomtranslokationer hos grisar (Mäkinen et al., 1999). Robinson och Buhr (2005) beskriver ett exempel på en reciprok translokation som uppkommer då delar från olika kromosomer byter plats med varandra, och leder till gameter med obalanserad genetisk information. De beskrev att detta ger ca 50 % obalanserade gameter vilka bär kromosomer som kan sakna viss information, eller har viss information dubbelt. En sådan spermie inte kan para ihop sig med ett ägg, vilket i sin tur till att embryot dör och att kullen blir mindre (Robinson & Buhr, 2005). Men även de balanserade translokationerna ger subfertila avkommor, som i sin tur får mindre kullar (Mäkinen et al., 1999; Robinson & Buhr, 2005). Som Mäkinen et al. (1999) visat kommer ca hälften av smågrisarna i kullarna efter en galt med reciprok translokation att dö på ett tidigt stadium i fosterlivet.

### **Kromatinintegriteten**

I spermierna finns en cellkärna (som i de flesta andra animaliska celler) vilken innehåller kromatinfilament bestående av proteiner och deoxyribonukleinsyra (DNA) (Sjaastad et al., 2003). Kromatinet är alltså bärare av arvsmassan i cellkärnan. För att arvsmassan skall föras vidare till nästa generation är det viktigt att den hålls intakt och stabil, vilket Tsakmakidis et al. (2010) kunnat visa. Tsakmakidis et al. (2010) fann att det fanns en stark fenotypisk korrelation mellan grisionsprocent och andelen levande morfologiskt normala spermier (LMNS) med stabilt DNA (vilket man mäter genom kromatinintegriteten) efter kombination med kontroll av de klassiska spermieegenskaperna (Tsakmakidis et al., 2010). Tsakmakidis et al. (2010) visade att LMNS stod för ungefär 62 % av variationen i grisionsprocenten, och att spermiekromatinintegriteten stod för ungefär 87% av skillnaderna i grisionsprocenten. Båda dessa egenskaper var signifikant skiljda mellan ejakulat från olika galtar (Tsakmakidis et al., 2010). Tsakmakidis et al. (2010) visade även att kopplingen mellan andelen LMNS med stabil kromatinstruktur och grisionsprocenten är statistiskt signifikant, vilket kan koppla LMNS och hög kromatinintegritet till fertiliteten. Däremot visade samma studie att antalet levande smågrisar per grision inte var signifikant korrelerat till spermiekvaliteten. Dock är det näst intill omöjligt att fastställa spermiekromatinintegriteten på kommersiella gårdar, men kanske möjligt på galtstationer (Tsakmakidis et al., 2010).

### **Inte bara genetiken spelar roll**

Trots att studier visat att många skillnader i galtens spermieproduktion är delvis genetiska (Sonderman & Luebbe, 2008) och inte enbart resultat på miljön (Smital et al., 2004) kan miljön och andra yttre omständigheter spela en betydande roll. Antalet spermier som produceras påverkas bl.a. av galtens spermieproduktionskapacitet, könsdrift, fysiska hållbarhet, hälsa, säsong, ålder, fotoperiod och sociala omgivning (Robinson & Buhr, 2005; Safranski, 2008; Andersson, 2010). Dessa egenskaper kan förstås även ha genetisk påverkan.

### **Ålder**

Vid ca sex månaders ålder blir galten könsmogen, och beräknas vara avelsmogna vid ca 7 månader (Andersson, 2000; Lärn-Nilsson et al., 2006;), I en studie av Oh et al. (2006) visades

att arvbarheten för totala antalet spermier per ejakulat ökar med galtens ålder. Det kan dock bero på att man har mer information om djuret vid en högre ålder, och därmed kan göra säkrare skattningar, och kanske inte på att själva arvbarheten för egenskapen i sig har ökat. Studier har dock visat att unga galtars ejakulat ofta blir kasserade på grund av låg volym eller spermiekoncentration, men även de första godkända ejakulaten till en början ger ett lågt antal spermier och ett mindre antal semindoser (Sonderman & Luebbe, 2008). Wolf och Smital (2009) visade dessutom att spermavolymen och det totala antalet spermier ökar under ca 2 år innan de stabiliseras. Samma studie visade att spermiekoncentrationen ökar till och med 11 månader, för att sedan minska t.o.m. 3 års ålder. Även spermiernas motilitet minskar med åldern, medan antalet onormala spermier ökar (Wolf & Smital, 2009).

### **Säsong**

Det är känt att säsong är en viktig faktor som påverkar galtens fertilitet (Smital et al., 2004). Spermier är temperaturkänsliga, och spermieproduktionen påverkas framförallt av för höga temperaturer. Variationer i omgivande temperatur och fuktighet anses som viktiga faktorer för variationen i galtens spermieproduktion och spermakvalitet (Suriyasomboon, 2005). Värme kan påverka spermatogenesis negativt, och orsaka testikeldegeneration (Suriyasomboon, 2005). Sonderman och Luebbe (2008) visade att spermiebildningen påverkades negativt då den omgivande temperaturen var över 29°C med 85 % luftfuktighet under mer än tio dagar. De visade även att våra nordiska grisar ofta var mindre värmetåligen än sydligare genotyper. Samma studie har också visat att spermakvaliteten och ejakulatvolymen påverkas negativt av värmestress som kan uppstå vid höga temperaturer. Volymmässigt är spermiebildandet högst under vinterhalvåret (Wolf & Smital, 2009) vilket inte bara behöver bero på temperaturen, utan även kan kopplas till mängden dagsljus. Som Anderson (2000) visat påverkas galtens pubertet av mängden dagsljus. Korta dagar stimulerar puberteten, medan långa dagar fördröjer puberteten.

### **Påverkan av samling**

Foote (1978) visade att frekvensen och intervallet mellan samlingar är två faktorer som påverkar ejakulatets sammansättning och antalet spermier i det. Samma studie visade att en för frekvent samling av galten minskar antalet spermier i varje ejakulat. Senger (2003a) beskriver hur man kan maximera utbytet av galtens ejakulat genom sexuell stimulering. Det skulle kunna ske genom att förhindra bestigning före samling, och därmed ejakulation, av fantomen/suggan/gyltan under de första 2-3 minuterna. Det skulle maximera utbytet med fler spermier i ejakulatet. Andra studier har visat att olika raser kräver olika sätt att tränas/vänjas till att samlas på (Sonderman & Luebbe, 2008).

### **Hur påverkar genetisk selektion**

I de flesta avelsorganisationer använder man sig av Best Linear Unbiased Prediction (BLUP) som ger skattade avelsvärden, Estimated Breeding Values (EBV) (Robinson & Buhr, 2005). Som Robinson och Buhr (2005) beskrev sker den genetiska selektionen på galtar idag framförallt på ekonomiskt intressanta egenskaper som tillväxt (t.ex. ålder vid 100 kg) och foderomvandlingsförmåga. De beskrev även att kullstorlek kan tas med som ett mått på galtens fertilitet. I Sverige finns dock inte någon avel på kullstorlek hos våra faderraser, undantaget är Norsvin vilka har maternell fruktsamhet i sitt avelsprogram för duroc (Avelspoolen, 2011; Quality Genetics, 2011). Det bör beaktas att studier visat att de 5-10 % bästa galtarna med avseende på tillväxttegenskaper endast är medelmåttiga vad det gäller kullstorleken, medan de 5-10% bästa i kullstorlek endast är de 33 % bästa gällande tillväxttegenskaperna (Robinson & Buhr, 2005). Om det är ett resultat av tillväxtens inverkan på spermakvaliteten bör man ta det i beaktning att det kan inverka även på andra

fruktsamhetsegenskaper än kullstorlek. Robinson och Buhr (2005) visade att galtar med överlägset avelsvärde (baserat på tillväxtegenskaper) kan vara dåliga på att producera sperma av andra skäl, såsom skelett- eller penisproblem, sjukdom etc. , vilket även det bör tas i beaktande. Enligt Safranski (2008) kan det vara svårt att selektera galtar med magert kött och mycket muskler som har bra spermaproduktion på grund av de ofördelaktiga genetiska sambanden mellan egenskaperna, vilka bland annat Brandt och Grandjot (1998) kunnat visa indikationer på (se tabell 2). En undersökning av Tsakmakidis et al. (2010) på grekiska semingaltar visade att gräsningsprocenten efter insemination skiljde galtarna åt, men inte kullstorleken. De visade även på en svag genetisk korrelation mellan dessa egenskaper och menade på att dessa mått på fruktsamhet därmed påverkas olika av galtens spermakvalitet.

Genom att lägga tillräckligt stort ekonomiskt tryck på valda egenskaper styr man avelsmålet åt ett visst håll, trots att man har många egenskaper i sin avelsvärdering. Genom att lägga högre ekonomisk vikt på t.ex. tillväxt eller fertilitet skulle dessa egenskaper snabbare göra genetiska framsteg. Dock bör man vid selektion alltid beakta att avel för en egenskap, kan påverka även andra egenskaper (Robinson & Buhr, 2005) eftersom korrelationer kan vara gynnsamma eller icke gynnsamma för slutresultatet, se tabell 2.

### **Hur inkludera hanlig fruktsamhet och spermiekvalitet i avelsurvalet?**

På grund av ökad användning av semin, och därmed intensifierade användandet av enskilda galtar, har intresset för galtens fertilitet ökat (Safranski, 2008). Genom att öka galtens spermaproduktivitet, och bereda fler doser per galt, skulle man minska på fasta kostnader runt galthållningen, som arbets- och stallkostnader eftersom man skulle kunna ha färre djur (Safranski, 2008; Smital & Wolf, 2009). Man vet att galtarna påverkar fertiliteten, bland annat om de har reciprokala translokationer (Robinson & Buhr, 2005). Frågan är vilka ytterligare egenskaper hos galten som är tillräckligt starkt kopplade till galtens fertilitet, men vilka ändå har en tillräckligt hög arvbarhet att de är möjliga att selektera på. Fertiliteten får inte heller ta för stort utrymme i aveln, så att selektion av andra kommersiellt viktiga egenskaper, såsom tillväxt och foderomvandlingsförmåga, minskar. Men studier har visat att spermiekoncentration, viabilitet, motilitet och spermimorfologi, vilka är de vanligaste spermieegenskaperna som undersöks rutinmässigt på seminstationen, inte är signifikant korrelerade med fertiliteten hos galten, och att inga av dessa klassiska spermieparametrar allena kan förutspå vare sig gräsningsprocent eller kullstorlek (Smital et al., 2004; Wolf, 2009; Tsakmakidis et al., 2010). Samma studie visade dock att utvärdering av dessa klassiska spermieparametrar kan ge en uppfattning om ejakulatets fertilitetspotential (om spermierna teoretiskt skulle kunna befrukta ägg) men inte förutsäga fertiliteten. Enligt Tsakmakidis et al. (2010) kan man förutse galtfertiliteten med AI med färskspädd sperma genom evaluering av spermimorfologin, där spermien skall ha normalt huvud och svans, och en hög kromatinintegritet. Smital et al. (2004) menar i sin tur att antalet livskraftiga spermier kan anses vara en avgörande egenskap som påverkar galtens fertilitet. Där är det totala antalet spermier, motiliteten, andelen onormala spermier, koncentrationen och volymen inkluderat, vilket tar hänsyn till de flesta av spermaegenskaperna. Även denna studie poängterar att de specifika spermieegenskaperna inte direkt speglar fertiliteten hos ejakulatet, men att de kan fungera som en viktig indikator av galtens fertilitet.

Selektion för spermieegenskaper är möjligt med de arvbarheter som skattats (se Tabell 1), (Smital et al., 2002; Wolf, 2009). En studie av Wolf (2009) som baserades på ett stort antal ejakulat från olika galtar visade att den spermieegenskap som visade mest genetisk variation var andelen onormala spermier, medan det i genomsnitt var låg variation i motiliteten mellan ejakulaten. Egenskaper med stor variation kan vara möjliga för selektion, trots lägre arvbarheter. En undersökning av Robinson och Buhr (2005) ger förslag på vad de tror att man

kommer selektera på i framtiden, varav några innefattar galtarnas spermieproduktion och fruktsamhet. De tror på fortsatt selektion för tillväxt och andra produktionsegenskaper men med mer fokus på spermakvalitet och kvantitet samt användning av Quantitative Trait Locus (QTL), enskilda markörgener, för att kunna öka selektionseffektiviteten. För att inte tappa den hanliga fertiliteten skulle det finnas fertilitetsdatabaser. Fertilitetsdatabaserna skulle evaluera alla hanliga fertilitetsassocierade egenskaper, och bilda ett selektionsverktyg för hanlig fertilitet (Robinson & Buhr, 2005). Enligt Smital et al. (2005) borde man i framtiden komplettera galtars EBV med någon eller några spermieegenskaper, alternativt räkna ut egna EBV för dessa egenskaper separat och kombinera dem med EBV för t.ex. produktionsegenskaper vid selektion av galtar. Det finns inga studier gjorda på arvbarheten för kromatinintegriteten, varför avel för denna inte kan anses aktuell. Dessutom är kromatinintegriteten ganska svår att mäta, men det är antagligen möjligt hos galtstationer (Tsakmakidis et al., 2010).

## Diskussion

Genom att finna ett samband mellan spermieegenskaper och hanlig fruktsamhet som är korrelerad med honlig reproduktionsförmåga skulle man kunna utnyttja det för utökad avel. I dagens produktion är avel för hanlig fertilitet mycket begränsad. Målet med den här litteraturgenomgången var att undersöka kopplingen mellan spermakvalitet och galtars fruktsamhet för att kunna förutsäga fruktsamheten hos en galt. Detta skulle i sin tur kunna användas i urvalet av avelsgaltar, både vid selektion för avel och för beredning av semindoser med känd fruktsamhet. Dock har den genomgångna litteraturen inte kunnat peka på någon säker sådan koppling. De klassiska spermiekvalitetsegenskaperna, (volym, koncentration, motilitet, andel onormala spermier, och totala antalet spermier) verkar inte kunna kopplas direkt till galtens fertilitet med avseende på t.ex. grisningsprocent eller antalet födda smågrisar (Wolf, 2009; Tsakmakidis et al., 2010)

Trots att de klassiska spermiekvalitetsegenskaperna inte direkt kan förutspå galtens fertilitet i form av antal levande smågrisar eller grisningsprocent, kan man ha nytta av dem för att få en uppfattning om ejakulatets kvalitet. Med hjälp av denna information om ett ejakulat kan man gallra ut ejakulat som inte håller måttet för att användas till att bereda semindoser. För att kunna förutspå fertiliteten i ett ejakulat, eller hos en galt, verkar det finnas få klara indikatorer i själva ejakulatet. Men som Tsakmakidis et al. (2010) visat verkar man kunna förutse galtfertiliteten i färskspädd sperma genom bedömning av själva spermie morfologin och kromatinintegriteten hos spermerna. Enligt Smital et al. (2002) är det antalet livskraftiga spermier i ett ejakulat som är en av de allra viktigaste egenskaperna för fertiliseringsförmågan hos galten. Antalet livsdugliga spermier skulle kunna identifieras genom undersökning av totala antalet spermier, motiliteten i ejakulatet, andelen onormala spermier, koncentration och volym, dvs. de klassiska spermieegenskaperna. Dock skulle antalet livsdugliga spermier inte heller direkt återspegla fertiliteten i ett ejakulat, men skulle kunna fungera som en indikator på galtens fertilitet. Dessutom är det i dagsläget praktiskt möjligt att undersöka antalet livsdugliga spermier på laboratorium, något som är betydligt svårare vad det gäller att undersöka kromatinintegriteten.

De klassiska spermieegenskaperna anses ha viss genetisk bakgrund, och i delar av den behandlade litteraturen har man skattat dess arvbarheter (se tabell 1). Däremot har olika studier kommit fram till olika arvbarheter, stundom med ett stort spann mellan olika skattningar. De stora skillnaderna mellan studierna beror förmodligen på skillnader i försökens upplägg, t.ex. mellan miljö, antalet använda djur och mätmetoder, vilket ger olika resultat och säkerhet i den skattade arvbarheten. Trots skillnaderna i skattade arvbarheter står

det klart att alla dessa egenskaper borde vara möjliga för selektion och därigenom avel. Genom att beakta dessa arvbarheter och skattade genetiska korrelationer (Se tabell 2) kan man avgöra vilka som är lämpade att selektera på med avseende på ejakulatets kvalitet. Som man kan se i tabell 1 är arvbarheten för volym hög, och därmed ett bra alternativ för avel. Men på grund av dess höga negativa korrelation till koncentration (se tabell 2) skulle selektion inte vara gynnsam, då det endast skulle öka andelen seminalplasma, och inte antalet spermier i ejakulatet. Däremot finns det en gynnsam negativ korrelation mellan andelen onormala spermier och motilitet som kan användas vid selektion för motilitet vilken även skulle kunna minska andelen onormala spermier. Andelen onormala spermier och motiliteten har ungefär samma arvbarhet, varför man bör välja att selektera för motilitet vilken oftast är lättast att mäta. Vad det gäller korrelationerna mellan spermieegenskaperna verkar de i stort sett inte påverka själva produktionen, utan snarare medföra en utspädningseffekt. Andelen onormala spermier kan dessutom kopplas till potentiell fertilitet i ett ejakulat, enligt Senger (1999). Avel för spermieegenskaper skulle också vara viktiga för att kunna reglera och öka säkerheten för spermieproduktion för galtar som skall gå vidare till avel och AI. Genom selektion på dessa egenskaper skulle kvaliteten hos galtejakulaten öka, med exempelvis högre koncentration, vilket också skulle leda till ökad vinst hos bl.a. seminestationer (Wolf, 2009). Eftersom dessa egenskaper har sådana arvbarheter som gör dem möjliga att avla på med hjälp av animal model (Smital, 2002; Wolf, 2009) borde man inkludera dem i ett framtida avelsmål för galtars fruktsamhet. Trots att det kan vara kostsamt att selektera på hanlig fertilitet, bör man ställa det mot kostnaden av dålig spermaproduktion, och beakta värdet av avkommans prestationsskillnader, jämfört med tidigare generationer (Safranski, 2008).

Trots att man har kunnat visa på heterosiseffekter på spermiekvaliteten vid korsningar mellan olika raser är det knappast något alternativ för avelsprogrammen i Sverige, då det främst handlar om renrasiga faderraser. Dock kan det vara av vikt att veta om man hamnar i ett läge där den hanliga fruktsamheten är mycket låg och kräver drastisk förbättring. Då kan det vara gynnsamt att korsa raser och utnyttja heterosiseffekten för ökad spermaproduktion.

För att kunna utnyttja galtens potential i produktionen bör man först och främst ta med hanlig fruktsamhet i avelsmålen, om inte annat för att inte försämra spermieproduktionen på grund av dess negativa genetiska korrelationer till tillväxt. För att mäta galtens fruktsamhet skulle jag rekommendera att man lägger vikt vid inrapportering av grisningsprocent för enskilda galtar. Vid inseminering av blandsperma blir evaluering av sådan information mer svårtolkad, och resultat tar längre tid att få fram, men bör ändå övervägas. Dock tror jag att det i dagsläget inte är ekonomiskt försvarbart att sluta bereda blanddoser enkom för att kunna föra data över enskilda galtars grisningsprocent i slaktsvinsproduktionen. Man bör fortsätta leta efter samband mellan galtens spermiekvalitet och fruktsamhet, samt förfina redskapen man har för att mäta dessa egenskaper för att ytterligare kunna utnyttja galtarnas fulla potential.

## **Slutsats**

Förhoppningen med studien var att kunna finna mätbara parametrar i ett ejakulat som kan kopplas till fertiliteten hos galten, för att på så sätt kunna förbättra fertiliteten i de semindoser som bereds, men även kunna styra avelsgaltarnas selektion. Inga direkta kopplingar mellan de klassiska spermieegenskaperna och galtens fertilitet har kunnat identifieras. Men genom undersökning och genetisk evaluering av själva spermimorfologin och kromatinintegriteten hos spermier skulle man kunna förutse galtens fertilitet. De klassiska spermieegenskaperna som undersöks idag, och antalet livskraftiga spermier, verkar kunna ge en indikation på ejakulatets fertilitet och är ett alternativ för selektion och avel för spermaproduktion hos galtar.



## Litteraturförteckning

- Andersson, H. (2000) Photoperiodism in pigs. Doctoral thesis. Dept. of Clinical Chemistry, Swedish University of Agricultural Sciences. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, vol 2000:90.
- Avelspoolen. April 2011. [www.Avelspoolen.se](http://www.Avelspoolen.se)
- Brandt, H., Grandjot, G. 1998. Genetic and environmental effects of male fertility of AI-boars. 6<sup>th</sup> WCGALP Armidale 23. pp. 527-530.
- Foote, R.H. 1978. Factors influencing the quantity and quality of semen harvested from bulls, rams, boars and stallions. *Journal of Animal Science* 47, 1-11.
- Flowers, W.L. 2008. Genetic and phenotypic variation in reproductive traits of AI boars. *Theriogenology* 70, 1297-1303.
- Lundeheim, N. April 2011. Personligt meddelande. Agronomie doktor. Institutionen för Husdjursgenetik, SLU.
- Lärn-Nilsson, J., Jansson, D.S., Strandberg, L. 2007. Hanliga könsorgan hos däggdjur. In: *Naturbrukets Husdjur Del 1*, 52-54. Natur och kultur.
- Mäkinen, A., Andersson, M., Hakkinen, A., Kuosmanen, S. 1999. A reciprocal translocation between autosomes 8 and 10 in boar used for artificial insemination service and its effects on litter size. *Animal Reproduction Science* 56, 237-243.
- Oh, S.H., See, T.E., Long, T.E., Galvin, J.M. 2006. GEstimates of genetic correlations between production and semen traits in boar. *Asian-Australian Journal of Animal Sciences* 19, 160-164.
- Robinson, J.A.B., Buhr, M.M. 2005. Impact of genetic selection on management of boar replacement. *Theriogenology* 63, 668-678.
- Rothschild, M.F. 1996. Genetics and reproduction in the pig. *Animal Reproduction Science* 42, 143-151.
- Safranski, T.J. 2008. Genetic Selection of Boars. *Theriogenology* 70, 1310-1316.
- Senger, P.L. 2003a. Reproductive behavior. In: *Pathways to Pregnancy and Partuition*, 240-265. Washington State University Research & Technology Park.
- Senger, P.L. 2003b. Endocrinology of the Male and Spermatogenesis. In: *Pathways to Pregnancy and Partuition*, 214-239. Washington State University Research & Technology Park.
- Sjaastad, ØV., Hove, K., Sand, O. 2003. Cells and Tissues. In: *Physiology of Domestic Animals*, 51-93. dinavian Veterinary Press, Oslo.
- Smital, J., De Sousa, L.L., Mohsen, A., 2004. Differences among breeds and manifestation of heterosis in AI boar sperm output. *Animal Reproduction Science* 80, 121-130.
- Smital, J., Wolf, J., De Sousa, L.L. 2005. Estimation of genetic parameters of semen characteristics and reproductive traits in AI boars. *Animal Reproduction Science* 86, 119-130.
- Sonderman, J.P., Luebke, J.J. 2008. Semen production and fertility issues related to differences in genetic lines of boars. *Theriogenology* 70, 1380-1383.
- Suriyasomboon, A. (2005) Herd Investigations on Sperm Production in Boars, and Sow Fertility under Tropical Conditions. Doctoral thesis. Dept. of Clinical Sciences, Swedish University of Agricultural Sciences. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, vol 2005:72.
- Tardif, S., Laforeest, J.P., Cormier, N., Bailey, J.L. 1999. The importance of porcine sperm parameters on fertility in vivo. *Theriogenology* 52, 447-459.
- Tsakmakidis, I.A., Lymberopoulos, A.G., Khalifa, T.A.A. 2010. Relationship between sperm quality traits and field-fertility of porcine semen. *Journal of Veterinary Science* 11, 151-154.
- Wallgren, M. April 2011. Personligt meddelande. Leg. Veterinär, Quality Genetics, Adjungerad lektor på Institutionen för Kliniska Vetenskaper, SLU.
- Wolf, J. 2009. Genetic Parameters for Semen Traits in AI Boars Estimated from Data on Individual Ejaculates. *Reproduction in Domestic Animals* 44, 338-344.
- Wolf, J., Smital, J. 2009. Quantification of factors affecting semen traits in artificial insemination boars from animal model analyses. *Journal of Animal Science* 87, 1620-1627.
- Quality Genetics. April 2011. [www.qgenetics.com](http://www.qgenetics.com)