

Farvegenetik hos katte

Kattegenetik baseret på farver og mønstre

Tekst og fotos:
Ole Amstrup, Feles Grata.
Copyright!!

For snart mange år siden blev jeg spurgt, om jeg ikke ville skrive en eller flere artikler omhandler farvegenetik hos katte.

Den/de har nu været undervejs i flere år, og jeg har da også fået begyndt på en artikel flere gange, men det er aldrig lykkedes mig at blive helt færdig med den. Men nu er den altså blevet skrevet!! Den er baseret på mine mange foredrag om farvegenetik, som jeg har holdt i flere forskellige sammenhænge - JYRAK opdrætterseminarer, JYRAK's studiekredse, for forskellige norske klubber, på Felis Danicas opdrætterseminar, på FIFE's Dommerelev seminarer og på FIFE's dommerseminar i forbindelse med den årlige Generalforsamling i FIFE.

JYRAK har sponsoreret de forskellige videnskabelige artikler, som omhandler de nyeste forhold inden for genetikken. Disse artikler kan erhverves via internettet, hvis man søger på artiklens titel (se litteraturlisten).

Jeg ved, at farvegenetik ikke er det nemmest tilgængelige emne for opdrættere, men på den anden side er det jo heller ikke "rocket science", og hvis man har nogle helt basale ting på plads, er det såmænd nemt nok. For nogle er farvegenetikken en integreret del af deres opdræt.

For andre er farvegenetik fuldstændigt ligegyldigt, da man ikke mener, at farver og mønstre betyder noget for kattens bedømmelse på udstillinger, men derimod at typen er det vigtigste.

Uanset om man er af den ene eller den anden opfattelse, tror jeg, at det er vigtigt for vores opdræt af katte, at vi ved noget om de mekanismer, der ligger bag ved – om vi vil bruge det eller ej, er jo op til den enkelte.

Det jeg i denne artikel vil komme ind på, er for langt det meste bygget på 25 års opdrættererfaringer, mange gennemlæsninger af Roy Robinsons "Genetic for Cat Breeders & Veterinarians" fjerde udgave, videnskabelige artikler (se litteraturliste), gennemlysninger på nettet, samtaler med dommere og opdrættere, osv., og så selvfølgelig mine egne tanker om sammenhængen.

Generelt set vil jeg beskrive det, **vi tror, vi ved om farvegenetikken i dag!**

Men hvordan startede det hele?

Alle undersøgelser tyder på, at oprindelsen til vore dages Felis Catus – en betegnelse der dækker alle domesticerede katte – og altså også vores racekatte uanset race – skal findes i det sydlige



Felis Sylvestrus Lybica

Ægypten, hvor man for omkring 10.000 til 11.000 år siden, begyndte på landbrug og derfor skabte ideelle betingelser for *Felis Sylvestrus Lybica* at tilslutte sig mennesket og leve i tæt forbindelse med kornlagrenes mus og rotter og menneskers efterladenskaber. Genetiske undersøgelser tyder på, at dette er sket ved en enkelt lejlighed bestående af en forholdsvis lille gruppe.

Disse katte er så senere blevet opdelt i nogle genetiske undergrupper – En Asiatiske gruppe, en Middelhavs gruppe, en Vesteuropæisk gruppe og en Østafrikansk gruppe. Denne opdeling i disse grupper skyldes, at disse grupper i perioder har været forholdsvis isolerede og derfor har udviklet specielle genetiske profiler. Det er ikke sådan, at udviklingen af den domesticerede kat har betydet den helt store afvigelse fra oprindelsen, og alle katte i *Felis Catus* gruppen, kan parres indbyrdes, ligesom de også kan parres med deres oprindelse *Felis Sylvestrus Lybica*.

Lige siden har mennesket og kattene fulgtes ad, og når kattene er spredt over verden, som de er i dag, skyldes det menneskets medvirken og den handel og rejseaktivitet som mennesket har udøvet.

Menneskets rejseaktivitet og færden har givet de pudsige forhold. Selvom kattene rundt om Middelhavet har deres egen lille "genetiske undergruppe" af *Felis Catus*, så hører de vildtlevende italienske og tunesiske katte ikke, som man ellers skulle tro, til Middelhavsgruppen. De hører for størstedelens vedkommende hovedsageligt til den vesteuropæiske gruppe ligesom amerikanske katte, måske mere forståeligt, også hører til denne gruppe.

De enkelte racer med særlig oprindelsehistorier passer ret fint genetisk set med de lokale fritlevende katte i det område, hvor de forskellige racer kommer fra.

Der er dog nogle "sjove" genetiske billeder, såsom at Perser/Exotic genetisk hører til i den europæiske gruppe og ikke den Asiatiske, at Ægyptisk Mau ikke tilhører Middelhavsgruppen men den Europæiske, at abyssinieren er en mellemting mellem den Østafrikanske gruppe og den Asiatiske, at Sokoken har samme genetiske billede som de vildtlevende katte i Kenya, at Korat og Hellig Birma er meget tæt forbundet, at Tyrkisk Van og Tyrkisk Angora tydeligt adskiller sig fra hinanden m.f.

Men *Felis Sylvestrus Lybica* og dagens katte ser jo ikke ens ud!? Hvis man betragter

Felis Sylvestrus Lybica, er det en kraftigt bygget kat med et ikke særligt veldefineret plettet eller makrel tabby mønster, i farver der varierer fra værende varme til kolde, alt efter hvilke landskabsmæssige omgivelser disse katte lever i.

Det er altså den oprindelige farvegenetik - en sortplettet kat med et ikke særligt defineret tabbymønster – der fandtes ingen blå, røde, hvidplettede, blotched, krølhårede, silver, langhårede osv. osv. De kom kun i en variant, og sådan så de formodentlig ud i rigtig mange år.

I mange år var det de oprindelige racer, som dominerede, men specielt inden for de sidste 150 år har mennesket virkelig taget fat på kattene og deres udvikling.

Genetisk variation

Det er sådan, at naturen gerne vil have variation, og den prøver hele tiden at lave nye mutationer/ændringer til den oprindelige genetik. Det kunne jo være, at der lige kom en mutation/ændring, som var en fordel for kattene på det givne tidspunkt.

Noget af det første, der som regel sker med domesticerede dyr er, at der udvikles forskellige variationer over farven hvid – hvidplettet, bi-color, osv.

Det er en relativ almindelig mutation og findes i stort set alle domesticerede dyr. Denne eller lignende mutationer findes selvfølgelig også i den oprindelige og vilde bestand af katte, men forekomsten af hvidt fremmer jo ikke ligefrem en katts evne til at kamuflere sig. Den bliver en hel del tydeligere for rovdyr, og derfor har en kat med hvidt ikke så store chancer for at overleve i naturen og vil hurtigt blive udryddet.

Hvis katten derimod lever i tæt forbindelse med mennesker, er chancen for overlevelse større, og man kan måske også forestille sig, at netop disse katte med hvide pletter af en eller anden udformning, har været mere attraktive for de mennesker, der har haft katterne i deres nærhed, og på den måde har denne eller disse mutationer bredt sig i kattepopulationen, og er i dag blandt fritlevende *Felis catus* en ganske almindelig farvekombination.



Hvidplettede domesticerede dyr.

Kontakten til mennesker gør, at de små mutationer som hele tiden sker i katterne, måske kan blive valgt ud og avlet videre på. I dag har vi en så lang række mutationer/ændringer i den oprindelige genetik, at vi har flere tusind forskellige kombinationsmuligheder med farver, pelslængde og kvalitet, mønstre osv.

Det specielle ved disse ændringer af farver og mønstre er, at de skyldes ændringer i et bestemt gen, og at dette gen styrer lige præcis en egenskab.

Disse mutationer kan være dominante - altså stærkere end en anden variant af dette gen og kan dække over den. Eller de kan være recessive - altså være svagere end et andet gen - eller de kan være delvist dominante og kan vise en mellemform af den dominante eller recessive egenskab.

For mig er det det enkleste ved farvegenetik, og det er beskrevet alle mulige steder, hvordan man ved at kombinere de forskellige gener, kan nå frem til et ganske bestemt mønster eller en farve, og man kan finde ud af, hvordan den nedarves og gives videre til killinger. Det er ikke det, jeg vil fokusere på i denne sammenhæng. Jeg vil mere prøve at se på, hvad de enkelte mutationer egentlig forårsager. Altså prøve at forklare, hvad det er, der sker, når en mutation gør, at den sorte farve ændres til en brun (chokolade). Hvad skyldes denne ændring?

Det at den enkelte farve styres af et gen, ligesom mønstret gør det, betyder at det er forholdsvist enkelt at "lave" en bestemt farve på en kat. Men kvaliteten af denne farve styres ikke bare af et enkelt gen, men af mange forskellige "smågener"/polygener, der ikke i sig selv er afgørende, men i fællesskab kan påvirke kvaliteten.

F.eks. er det enkelt at lave en chokoladefarvet kat! Men alle der har prøvet at lave chokoladefarvede katte ved, at den chokoladefarve kan variere utroligt meget i nuance, intensitet og varme. Disse egenskaber sidder IKKE på det gen, der giver chokolade, men er et resultat af opdrætternes selektion/udvælgelse. Så lige så snart kvaliteten af en egenskab kan ændres ved selektion, er det polygener, der styrer denne variation.

Jeg vil senere komme lidt ind på polygener, men i det efterfølgende er det primært, de gener der kontrollerer farver, mønstre og pelslængde og struktur.

Betegnelser for de forskellige gener og deres mutationer

For at det hele ikke skal blive alt for kaotisk, har man i videnskabelige kredse

Oversigt over muterede gener der har betydning for FIFe godkendte racer

* markerer den oprindelige genetik / i kursiv hvis der findes en gentest for dette locus

A	*	Agouti/tabbymønstret kan ses	Pb		Hårtab (DSP og PEB)
a		Non – agouti – tabbymønstret kan ikke ses	pb	*	Normal pelslængde
B	*	Sort	R	*	Normalt gen
b		Chokolade	r		Cornish rex
b₁		Cinnamon	Re		Normalt gen
C	*	Ikke masket	Hr		Sphinx
c_b		Burmesermasket	re		Devon rex
c_s		Siameser masket	S		Hvidpletlet / Piebald spotted
c_a		Blå øjet albino	s	*	Uden hvide pletter
c		Rødøjet albino	T_a		Tick tabby (delvist dominant)
D	*	Fuld intensitet i farven	t_a	*	Det normale tabbymønster kan ses
d		Dilution / fortynding af farven	W		Dominant hvid
E	*	Normal farveudvikling	w	*	Ikke hvid
e		Amber – forårsager gradvis udskiftning af eumelanin med phaomelanin	Wb		Hårets struktur nedbrydes og efterlades kun i hårets spids
Gl	*	(bogstavsbetegnelsen for mutationen varierer – UC Davis kalder mutationen G og N for normal, men jeg foretrækker samme betegnelse for både mutation og normale.)	wb	*	Normal hårudvikling
gl		Handskegen (SBI)	X	*	Hun – normalt farvet
I		Silver	O / x_o		Rød (kønsbundet / sidder på det kvindelige kønskromosom)
i	*	Ikke sølv	Y		Bærer ingen egenskaber
L	*	Korthår			
l		Langhår Dette locus består egentlig af fire forskellige variationer af dette gen. Tre af disse er racespecifikke.			
Mc	*	Plettet/makrel tabbymønster			
mc		Blotched tabby			

Figur 1

valgt at betegne de forskellige ændringer/mutationer af egenskaber med et bogstav – et stort bogstav for en dominant egenskab og et lille bogstav for en recessiv egenskab, og evt. med nogle ekstra tilføjelser, hvis der er mere end to variationer af den samme egenskab. (se fig. 1) Det er vigtigt at gøre opmærksom på, at disse bogstaver IKKE har noget som helst med FIFe's EMS system (kodesystem til angivelse af race og farve) at gøre.

Der er selvfølgelig mange forskellige mutationer, men jeg vil begrænse beskrivelserne af de forskellige mutationer til de

mest kendte, og kun hvis egenskaben er anerkendt i FIFe.

Det almindeligste er, at det er den originale genetik, der er den dominante, men i enkelte tilfælde er det mutationen, der er den dominante – i figuren har jeg markeret den oprindelige genetik med en stjerne, så det er tydeligere.

Når jeg i her artiklen bruger betegnelsen "gen" er det måske ikke helt videnskabeligt korrekt – den korrekte betegnelse vil være "allel", som betegnelse for de egenskaber der er knyttet til et bestemt locus på kromosomet. Men vi har så

længde, jeg kan huske, altid betegnet disse alleler som generne, der styrer vores farver og mønstre, og det vil også være det, der bliver brugt i denne artikel.

Før vi begynder at se nærmere på de enkelte gener og deres funktion, bliver vi lige nødt til at undersøge, hvad det egentlig er, der bestemmer farver og mønstre – langhår, hårløshed og rex varianter vil blive behandlet til sidst i artiklen.

Læs om det når vi bringer andel del af genetikserien i næste nummer af Kattemagasinet.

Litteratur- og ordlisten gælder under hele genetikserien, og er trykt sammen med første del, så du altid kan gå tilbage til dette nummer og slå ordene op.

Litteraturliste

- Genetics for Cat Breeders Veterinarians Fourth Edition/ Carolyn M. Vella, Lorraine M. Shelton m.f / 2003
- History of Domestic Cats and Cat Breeds / J. Watlhuber
- Phylogenetic reconstruction of the Felidae using 16S rRNA and NADH-5 mitochondrial genes. / Johnson WE, O'Brien SJ./ 1996
- A Population genetic analysis of cat populations from Mexico, Colombia, Bolivia, and the Dominican Republic: identification of different gene pools in Latin America / Manuel Ruiz-Garcia, Diana Alvarez og Joseph M Shostell / 2005
- The ascent of cat breeds: Genetic evaluations of breeds and worldwide random-bred populations / Monika J. Lipinski a, Lutz Froenicke, Kathleen C. Baysac, Nicholas C. Billings, Christian M. Leutenegger, Alon M. Levy, Maria Longeri, Tirri Niini, Haydar Ozpinar, Margaret R. Slater, Niels C. Pedersen, Leslie A. Lyons / 2007
- Normal Genetics, Genetic Disorder, Developmental Anomalities and Breeding Programs / Roy Robinson og N.C. Pedersen
- Population Genetics and Evolution
- Red Hair in Black Cats Is Reversed by Addition of Tyrosine to the Diet1/ James G. Morris, Shiguang Yu3 and Quinton R. Rogers / 2002
- Chocolate coated cats: TYRP1 mutations from brown color in domestic cats. / Lyons, L.A., Foe I.T., Rah H.C. and Grahn R.A./ 2005
- A Domestic cat X Chromosome Linkage Map and the Sex-Linked orange Locus: Mapping of orange, Multiple Origins and Epistasis Over nonagouti / Anne Schmidt-Küntzel, George Nelson Victor A. David, Alejandro A. Schäffer, Eduardo Eizirik, Melody E. Roelke, James S. Kehler, Steven S. Hannah, Stephen J. O'Brien og Marilyn Menotti-Raymond m.fl. 2009
- A homozygous single-base deletion in MLPH causes the dilute coat color phenotype in the domestic cat / Yasuko Ishida, Victor A. David, Eduardo Eizirik, Alejandro A. Schäffer, Beena A. Neelam, Melody E. Roelke, Steven S. Hannah, Stephen J. O'Brien, Marilyn Menotti-Raymond. / 2006
- Mutation in the melanocortin 1 receptor is associated with amber colour in the Norwegian Forest Cat. / Peterschmitt, M., Grain, F., m.fl. / 2008
- The Tabby cat locus maps to feline chromosome B1 / LA Lyons, S J Bailey, m.fl. / 2006
- The Pigment Parade / Lorraine Shelton / 2006
- Feline Coat Color Tests / UC Davis hjemmeside / 2012
- White Cats and Deafness / ROY ROBINSON
- Variability of the Hereditary Deafness in the White Cat I. Physiology / Mireille Rebillard, Remy Pujol m.fl. / 1981
- Variability of the Hereditary Deafness in the White Cat II. Histology / Mireille Rebillard, Remy Pujol m.fl. / 1981
- Deafness in blue-eyed white cats: The uphill road to solving polygenic disorders / George M. Strain 2007
- Tyrosinase mutations associated with Siamese and Burmese patterns in the domestic cat (*Felis catus*). / Lyons, L.A., Imes, D.L., Rah, H.C. and Grahn, R.A. / 2005



DK Benga Kaiser, BEN. Ejer: Louise Nørgaard.

Litteratur- og ordlisten gælder under hele genetikserien, og er trykt sammen med første del, så du altid kan gå tilbage til dette nummer og slå ordene op.

Ordliste

Agouti / non-Agouti -	Agouti er navnet for den oprindelige form for pelsfarve/mønster. Gouti betegnes med et A, og er ikke muteret/ændret. Tabbymønstret kan ses. En non-agouti er a, altså hvor A-lokus er muteret. Inden for andre dyrearter kalde denne form ”melanistisk”, da katten fremstår ensfarvet som følge af en overproduktion af eumelanin, der får katten til at være ensfarvet. Tabbymønstret kan ikke ses.	Det dominante gen kommer altid til udtryk, når der er mindst ét eksemplar i cellen
Agoutiprotein	Protein der dannes i melanocytterne, mens de enkelte hår vokser. Når agoutiproteinet er til stede i tilstrækkelig koncentration, nedsættes produktionen af farvepigment.	EMS system System der er opbygget så racer, farver, mønstre osv. kan betegnes med en forholdvis simpel kode.
Allel	Allel(er) Forskellige udgaver af et gen En udgave kan være dominerende, en anden kan være vigende (recessiv, dvs. lader sig dominere), eller de kan være jævnbyrdige = codominante alleler. Hvis der er tale om alleler på forskellige kromosomer (uafhængige gener), følger nedarvningen simple arvemønstre, som første gang blev beskrevet af Gregor Mendel i 1865. Arvemønstrene kaldes til ære for ham Mendels love.	Farvepigment Farvekorn der giver de enkelte hår farve. Der findes to slags pigmenter – eumelanin og phaeomelanin. Eumelanin findes i 3 variationer hos katte, og er ansvarlig for de sorte/brune farver. Phaeomelanin er ansvarlig for de gule/rødlige farver.
Autosomt recessivt gen	Nogle egenskaber nedarves recessivt (vigende). Det betyder, at katten skal arve to kopier af en genforandring udvikle/vise en egenskab. Hvis katten kun arver en kopi af genforandringen sammen med en kopi af det normale gen, vil katten være bærer af egenskaben.	FIFe International sammenslutning af nationale katteorganisationer – Federation Internationale Feline. FIFe har udarbejdet regelsæt for opdræt, registrering, udstilling og uddannelse af dommere.
Domesticeret	Dyr eller planter der gennem menneskelig selektion/avl er blevet ændret fra sin vilde/oprindelige art til en modificeret og tilpasset version, der passer til menneskets behov. (Grise, køer, hunde, katte, gulerødder osv.)	Fænotype Det er et andet ord for ”udseende”. Kattens fænotype er alt det, du kan se: Farve, pelslængde, type og mønster osv. Allelernes effekt viser sig i fænotypen. En dominant fænotype kan fremkomme både homozygotisk og heterozygotisk, medens den vigende fænotype kun kan forekomme homozygotisk (dvs. at begge alleler i et par, skal være vigende).
Dominant	Dominant gen (allel)	Genkode Genkoden er den række bogstaver, som fortæller, hvilke gener katten har for forskellige egenskaber. Gen Stedet på kromosomerne, der styrer een bestemt egenskab. Et locus omfatter i alt eet gen fra faderen og eet gen fra moderen

Litteratur- og ordlisten gælder under hele genetikserien, og er trykt sammen med første del, så du altid kan gå tilbage til dette nummer og slå ordene op.

	Generne er placeret på kromosomerne (der er formentlig 35.000 gener i en menneskecelle).	Migartion	Vandring – når kattefostret vokser vandrer/ vokser cellerne fra ryggen af fostret og ned mod bugen.
Genotype	Kombinationen af alleler (altid et par) kaldes genotypen. Genotypen kan være sammensat af to ens alleler = homozygot eller af to forskellige alleler = heterozygot.	Morfologi	Læren om kattens ydre form. Ændringer i kattens morfologi er ændring i kattens ydreform – f.eks. bagudkrøllede ører, dværgvækst, manglende hale osv.
Heterozygot	To forskellige gener (alleler)	Mutation	Mutation er en ændring i et gens oprindelige egenskab. Så når et gen ændrer sig og går fra sin oprindelige form til en anden form, er der sket en mutation.
Homozygot	To ens gener (alleler)	Polygenetisk	Egenskab der styres af flere forskellige gener.
Hybrid	Resultatet af en krydsning.	Punnet Square	Et system som logisk udregner de teoretiske muligheder i en parring. Den opstiller de teoretiske mulige farver og den teoretiske farvefordeling. Den tager dog ikke højde for kønsfordeling, hvor stærke de enkelte farvegener er eller kuldstørrelse. Den er kun teoretisk! Den giver overblik over de muligheder der er af farver, pelstyper, pelslængder og aftegninger.
Kromosom	Kromosomerne og dermed også allelerne optræder altid parvis i en celle, fordi cellen er et produkt af sammensmeltningen mellem en ægcelle og en sædcelle – katten har 23 kromosompar	Recessiv	Vigende gen (allel). Vigende egenskaber kommer kun til udtryk, når begge gener er vigende.
Kønsbundet	Egenskab (gen/allel) placeret på X-kromosomet. Nedarvningen bliver ikke ens hos begge køn. Hos katten er den røde farve kønsbundet.	Selektion	Udvælgelse. Kunstig selektion er forædling af dyr og planter ved avl. Naturlig selektion er det samme som naturlig udvælgelse.
Kønsceller	Kønscellerne fremstilles ved en speciel type celledeling – meiose, kønscelledeling eller reduktionsdeling. Ved delingen haveresi kromosomtallet – sådan at forstå, at hver kønscelle indeholder ét og kun ét kromosom af hvert par. Kattenes sæd- og ægceller indeholder altså 19 kromosomer. Da fordelingen af kromosompartnerne er tilfældig, giver dannelse af kønscellerne en stor mulighed for blanding af forskellige egenskaber (2^{19} forskellige kønsceller).	Uafhængigt gen	Gener (alleler) på forskellige kromosomer (uafhængige gener). Nedarvningen følger simple arvemønstre, som første gang blev beskrevet af Gregor Mendel i 1865.
Lokus	Det sted på kromosomerne, der styrer en bestemt egenskab. F.eks. sidder langhårsgenet på L-lokus og cinnamon på bl-Lokus.		
Melanocyt	Celler der producerer pigment (farve) i hårsækkene på katten. Pigmentcellerne lejres i de enkelt hår i takt med, at håret vokser.		