



Natur & Kultur presenterar

Månadens naturvetare

Mars 2018

Leif Andersson

Lektionstips – Ärftlighet

Ärftlighet

När vi betraktar oss själva och våra släktingar är det uppenbart att en del drag och egenskaper går i arv. Samtidigt är det svårt att hitta några tydliga och återkommande mönster i denna nedärvning. Detta gjorde att vi länge hade svårt att begripa hur ärftlighet egentligen fungerar. Evolutionsteorins upptäckare Charles Darwin funderade t.ex. länge kring frågan, och skrev till och med en lång bok om den – utan att komma till någon klarhet.

I dag vet vi att det är DNA-molekyler som för vidare informationen från generation till generation. Men det finns många anledningar till att våra egenskaper inte vandrar mellan generationerna på ett lika enkelt och välordnat sätt som våra DNA-molekyler:

- De allra flesta av våra egenskaper påverkas inte bara av genetiskt arv, utan också av miljön.
- Om en egenskap påverkas av genetiskt arv är det oftast inte en enda utan många olika gener som är inblandade. (Eftersom flera olika proteiner är inblandade i de flesta processer som ger oss våra egenskaper.)
- Eftersom vi har dubbel kromosomuppsättning har vi två kopior av varje gen. Därmed kan den ena kopian ofta fungera som ersättare för den andra, så att det inte märks om man på den ena kromosomen har en genvariant som inte fungerar eller är »svag«.

Vi ska här titta närmare på hur gener påverkar olika egenskaper hos växter och högre djur, och hur detta kan leda till att somliga egenskaper går i arv genom generationerna. Vi börjar med de sällsynta fall då en egenskap helt bestäms av en gen.

Egenskaper som styrs av en gen

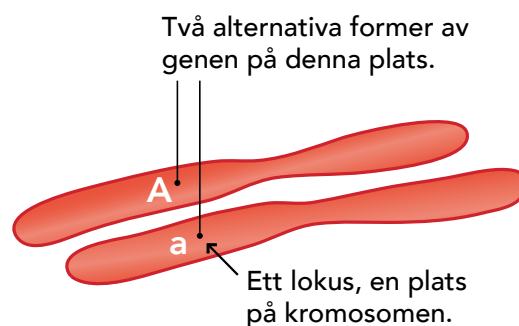
De egenskaper som helt bestäms av en enda gen är mycket få och kallas för monogena egenskaper. Hos människor är det framför allt frågan om ett antal ärftliga sjukdomar, som beror på att något blivit fel på en viktig gen. Det finns även några ofarliga monogena egenskaper, t.ex. förmågan att rulla tungan. Hos tamdjur och kulturväxter har man dessutom hittat några sådana gener som påverkar egenskaper som muskelmassa, längd på strået och motståndskraft mot ett virus eller svamp.

Några termer

Eftersom inte alla gener märks är det när man diskuterar ärftlighet viktigt att hålla isär den egenskap en individ

har från den gen eller de uppsättningar gener som påverkar egenskapen. Genetiker pratar ofta om en individs egenskaper som hennes fenotyp, och de gener eller genuppsättningar som orsakar fenotypen för hennes genotyp.

Det är också viktigt att hålla isär två aspekter av genbegreppet från varandra. Därför används ibland ordet locus för att beteckna en plats i arvsmassan, där en viss gen normalt ligger. Och ordet allel används för en viss variant av genen.



Ett locus är en plats på kromosomen, där en gen ligger. Många gener kan finnas i flera alternativa, allela, former.

Dominanta och recessiva anlag

Den ärftliga sjukdomen cystisk fibros beror på ett fel i genen för ett protein, som transporterar salt (kloridjoner) genom membranet hos celler i slemhinnorna. Utan detta protein bildas ett tjockt slem som täpper till luftvägar och gallgångar. Man får därför problem både med att andas och att ta upp näring från maten. För att man ska bli sjuk måste dock genen för detta protein vara fel på båda kromosomerna. Är genen fel bara på den ena kromosomen kommer tillräckligt med protein att bildas från genen på den andra kromosomen, och slemhinnans salttransport kommer att fungera normalt. Generna på de två kromosomerna fungerar alltså som ersättare för varandra.

Genvarianter som måste finnas på båda kromosomerna för att ge en egenskap kallas för recessiva anlag. Medan de genvarianter som bara behöver finnas på ena kromosomen för att ge en egenskap kallas för dominant anlag. Den genvariant som ger cystisk fibros är alltså recessiv, medan den som gör att man slipper sjukdomen är dominant. I de allra flesta fall beskriver ett dominant >

Se länkar till faktatexter ur Natur & Kulturs läroböcker *Insikt Biologi* och *PULS Biologi* längst ner på sidan 13.

- > anlag ett protein som aktivt gör någonting, medan ett recessivt anlag beskriver ett protein som saknar denna förmåga (eller inte beskriver något protein alls).

Anlaget för den dominanta sjukdomen Huntingtons chorea (danssjuka) beskriver t.ex. en ovanlig version av ett protein som sitter på utsidan av kroppens nervceller, och som aktivt skadar nervceller i hjärnan. Här räcker det att man får receptet för den ovanliga versionen på den ena kromosomen för att bli sjuk.

Kedjor i par

I hur många olika sammanhang förekommer DNA-molekyler två och två?

Det beror på hur man räknar!

Två kedjor i en DNA-molekyl: Först och främst är det ju så att det man kallar för en DNA-molekyl består av två komplementära DNA-kedjor. De behöver vara två, för att det ska vara enkelt att kopiera och reparera arvsanlagen.

Homologa kromosomer: Sedan är det så att många växter och djur har dubbel uppsättning av varje kromosom. Det betyder att de två kromosomerna påminner mycket om varandra, men att de inte är helt identiska. Samma gener ligger i samma ordning på de två kromosomerna, men de kan bära olika varianter av generna. Man talar om detta som homologa kromosomer.

Systerkromatider: Dessutom är det så att när en eukaryot cell ska dela sig kommer var och en av kromosomerna att kopieras, och det bildas då två i stort sett identiska kopior av kromosomerna. Dessa kallas för systerkromatider. När cellen sedan delar sig går de två systerkromatiderna till varsin av de två celler som ska bildas.

Recessiva anlag kan ligga gömda

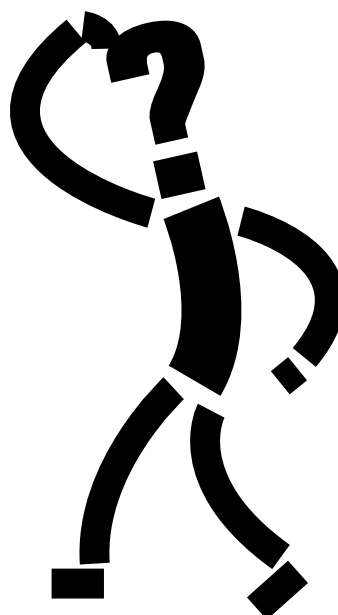
Eftersom recessiva anlag bara visar sig då de finns på bägge kromosomerna kan sådana finnas och föras vidare mellan generationerna i en familj utan att egenskapen märks. De allra flesta av oss bär en handfull recessiva sjukdomsanlag på en kromosom utan att veta om det.

Om två föräldrar bär på samma sådana »gömda« anlag, hur stor är då risken för att barnet ska få sjukdomen? Betrakta bilden här nedanför: Bägge föräldrarna har på ena kromosomen fel på genen för cystisk fibros-proteinet.

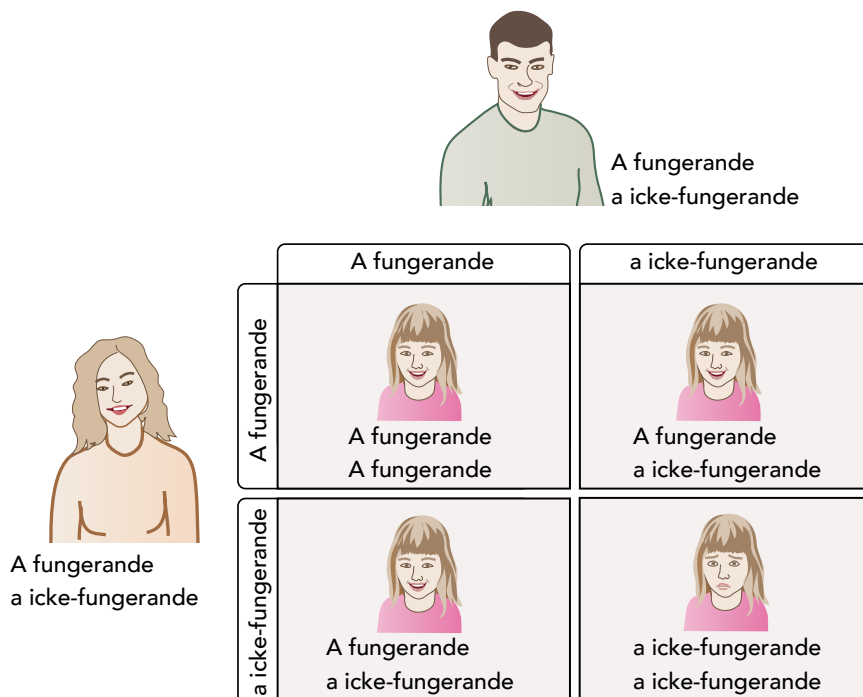
Från bägge kommer därför varannan könscell att bära på icke-fungerande gen, och varannan på fungerande. Det är därför en chans på fyra att ett befruktat ägg får fungerande gen på bägge kromosomerna, en på fyra att det får icke-fungerande gen på bägge kromosomerna och två chanser på fyra att det får en av varje. Sannolikheten blir därför en på fyra (25 %) att barnet blir sjuk.

Samma mönster ser man för alla egenskaper som styrs av gener som antingen kan vara dominanta eller recessiva. Exempelvis genen som styr färgen på luktärtens blomma: Har blomman minst en fungerande gen för ett protein som behövs för att bilda lila färgämne blir blomman lila. Plantan måste sakna genen för färgämnestillverkaren på bägge kromosomerna för att blomman ska bli vit!

I växtförädling och husdjursavel arbetar man mycket med att hitta sällsynta men för jordbrukaren och boskapskötaren nyttiga egenskaper som beror på recessiva arvsanlag. Bärarna av dessa korsas sedan med växter eller djur av samma art, som man redan sedan tidigare utnyttjar. I första generationen kommer den önskade egenskapen oftast att försvinna. Men korsar man dessa avkommor med varandra, kommer en fjärdedel av dem att få genen för den önskade recessiva egenskapen på bägge kromosomerna. Under de senaste hundra åren har på detta sätt allt fler nya egenskaper förts in i de växter och djur, som utnyttjas i jordbruket. I nästa kapitel kommer vi att titta närmare på hur det går till.

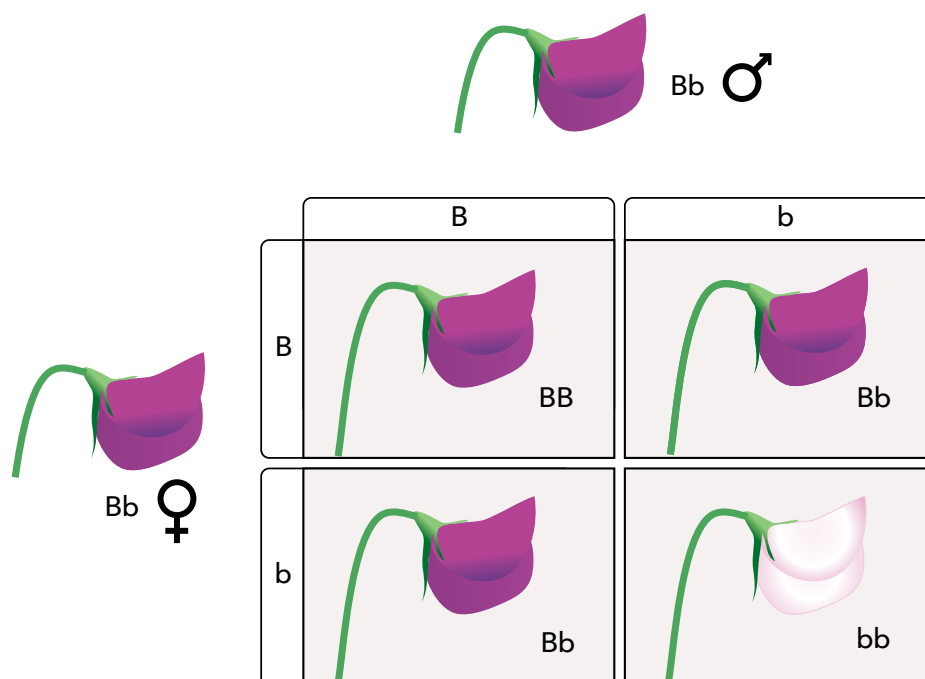


Se länkar till faktatexter ur Natur & Kulturs läroböcker *Insikt Biologi* och *PULS Biologi* längst ner på sidan 13.



Korsningsschema för cystisk fibros: Om bägge föräldrarna bär en icke-fungerande gen på ena kromosomen är risken en på fyra att ett barn inte får fungerande gen på någon kromosom, och därför drabbas av sjukdomen.

Dominant/recessiv nedärvning



Korsningsschema för luktärtens färg: Genen för lila färg, B, är dominant över genen för vit färg, b. Bär bägge föräldrarna en gen för vit färg på ena kromosomen är sannolikheten en på fyra att en avkomma får denna gen på bägge kromosomerna, och blir vit.

Se länkar till faktatexter ur Natur & Kulturs läroböcker *Insikt Biologi* och *PULS Biologi* längst ner på sidan 13.

X-bundna anlag

X-kromosomen finns i två exemplar hos kvinnor, men bara i ett exemplar hos män. Om en gen som ligger på denna kromosom inte fungerar orsakas därför mycket oftare problem hos män än hos kvinnor. Ett exempel på detta är sjukdomen Duchennes muskeldystrofi, där genen inte fungerar för ett protein som behövs i muskelcellerna. Män som har en sådan icke-fungerande gen på sin enda X-kromosom kan inte bilda proteinet, och de har en medellivslängd på 30 år eftersom deras muskler successivt förtväras. De flesta kvinnor som har en sådan sjukdomsvariant på sin ena X-kromosom har dock den normala genvarianten på den andra och slipper därför sjukdom. Egenskaper som styrs av gener som sitter på X-kromosomen kallas för X-bundna eller könsbundna. Andra exempel på sådana egenskaper är färgblindhet och blödarsjuka.

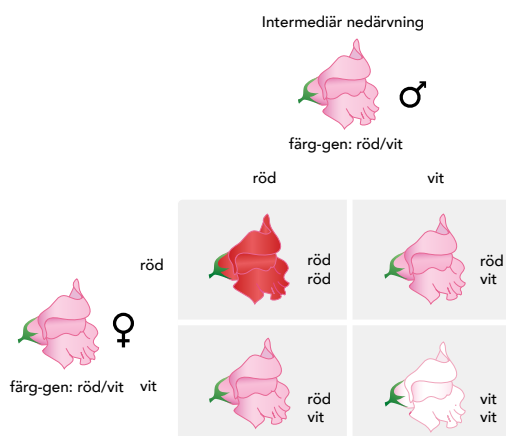
Jämnstarka anlag

Olika varianter av en gen behöver inte vara dominant och recessiv, de kan också vara jämnstarka. Man talar då om intermediär nedärvning, ibland också ofullständig dominans. Ett exempel är blommans färg hos lejongap. I grunden bestäms den av genen för ett protein som behövs för att bilda ett rött färgämne. Denna gen kan antingen vara fungerande eller utslagen. Har växten fungerande gen på bägge kromosomerna blir blomman röd, har den utslagen gen på bägge kromosomerna blir den elfenbensvit och har den en av varje blir den rosa. (Hos denna blomma spelar alltså antalet fungerande gener roll för hur mycket av färgämnet som ska bildas!)

Om man korsar en planta med röda och en med vita blommor får därför alla avkommor rosa blommor. Men om dessa i sin tur korsas med varandra blir var fjärde avkomma röd, var fjärde vit och hälften rosa. Alla som har sett många lejongapsblommor vet dock att blommorna också kan skilja sig från varandra i olika mönster av den röda eller rosa färgen. Det beror på att det dessutom finns skillnader i de styrsekvenser som avgör var i blomman detta protein ska tillverkas. Om en blomma har två fungerande gener, med olika sådana styrsekvenser, kan blomman få ett komplicerat mönster av vita, rosa och röda fält!

Flera egenskaper på en gång

I några enstaka fall kan två varianter av en gen ge upphov till varsin egenskap, som båda kan existera samtidigt i individen. Man talar då om kodominant nedärvning. Ett exempel på detta är våra blodgrupper. Blodgruppen avgörs av ett ställe på våra arvsanlag, där någon av tre olika gener kan finnas: en som beskriver



Korsningsschema för lejongapsblommans färg: Genvarianterna för röd respektive vit färg är jämnstarka, så en gen av varje sort ger en rosa blomma. Korsas två rosa blommor med varandra blir sannolikheten en på fyra att en avkomma blir vit, två på fyra att den blir rosa och en på fyra att den blir röd.

ett protein som gör en kolhydrat kallad A, en som beskriver ett protein som gör en kolhydrat kallad B och en som varken gör kolhydraten A eller B. Beroende på vilken kombination man har av dessa genvarianter kan man på ytan av de röda blodkropparna antingen få bägge ämnena, det ena av dem eller ingetdera. Man får då blodgrupp AB, A, B eller 0.

Inavel

Inavel uppstår när individer som är nära släkt med varandra får gemensam avkomma. Risken för ärftliga sjukdomar är då mycket stor. Det beror på att vi alla bär en handfull recessiva sjukdomsgener på ena kromosomen. Så länge man skaffar barn med någon utomstående är risken mycket liten att även ens partner ska råka ha fel på precis samma gen. Men med ett syskon är det 50% sannolikhet att man delar en viss icke-fungerande genvariant. Med en kusin är sannolikheten 25%. Risken att barn drabbas av recessiva ärftliga sjukdomar är därför mycket stor om man skaffar dem med nära släktingar.

När många gener och miljön samverkar

De flesta egenskaper, såväl hos växter som hos djur, formas i ett komplicerat samspel mellan många olika gener och ofta också miljön. Man kallar omväxlande sådana egenskaper för polygena, multigena eller komplexa. Vi ska nu diskutera några exempel på sådana egenskaper och successivt röra oss allt längre från den situation vi hittills diskuterat. >

Se länkar till faktatexter ur Natur & Kulturs läroböcker *Insikt Biologi* och *PULS Biologi* längst ner på sidan 13.

Avtändande lukter skyddar från inavel?

Det har gjorts många experiment som tyder på att däggdjur är genetiskt programmerade att undvika inavel.

Man satte en försöksmus i en bur och i varje ände av buren placerades urin från två möss av motsatt kön, en från samma inavlade musstam som försöksdjuret, och en från en annan stam. Musen föredrog så gott som alltid lukten av musen från en annan musstam. Möss använder alltså lukt för att välja partners som inte är en släkting. Det visade sig bero på att mössen väljer bort

tänkbara partners, som luktar på samma sätt som den hona de diade som små. De blir helt enkelt tidigt i spädbarns-åldern präglade att inte tända sexuellt på den som luktar på samma sätt som sin amma. Som ju i de allra flesta fall är samma individ som deras mamma.

Gäller detta också människor? Man har låtit unga kvinnor och män lukta på T-shirts, som burits av oparfymerade människor av motsatt kön. Resultaten är tydliga – man tycker framför allt att de T-shirts luktar attraktivt, som burits av personer med helt andra varianter än man själv har på en grupp gener som kallas MHC.



Ögonfärgen beror på hur mycket av färgämnet melanin som tillverkas och förs in i ögonen.

Ögonfärg

Ögonfärgen beror på hur mycket av färgämnet melanin som tillverkas och förs in i ögonen. Mycket melanin gör att ögonen ser bruna ut, medan mindre melanin får ögonen att se blåa eller gröna ut. Många olika proteiner behövs för att bilda melanin och transportera in färgämnet i ögat. Flera av de gener som beskriver dessa proteiner finns i olika former, som kan vara bättre eller sämre på att få in melanin i ögonen. En av dessa gener (som heter OCA2) kan dock finnas i en variant, som ger så kraftig skjuts åt melaninet att den är svår att överrösta. Ska man trots denna genvariant få ljusa ögon måste de flesta andra gener som är inblandade vara av varianter som är dåliga på att få in melanin i ögonen. Och ska man utan denna variant få bruna ögon måste nästan alla andra gener som påverkar ögonfärgen ha en variant som ger skjuts åt melaninet.

Bruna ögon vandrar därför genom generationerna nästan som om det vore en egenskap som styrdes av en enda gen, där varianten som ger bruna ögon är dominant. Men bara nästan – vilket är viktigt att tänka på innan man drar förhastade slutsatser efter att ha studerat sina familjemedlemmars ögon!

Hudfärg

Även människans hudfärg åstadkoms av färgämnet melanin. Ämnet finns i hudcellerna för att fånga upp ultraviolett ljus från solen, och därmed skydda våra celler från denna farliga strålning. Hundratals olika proteiner behövs för att tillverka melanin och transportera detta till hudcellerna. Är genen för något av dessa proteiner utslaget på bägge kromosomerna får man över huvud taget inget melanin i huden, något som kallas albinism. Detta är emellertid mycket sällsynt. >

Se länkar till faktatexter ur Natur & Kulturs läroböcker *Insikt Biologi* och *PULS Biologi* längst ner på sidan 13.

- > För något tiotal av dessa proteiner känner vi till olika genvarianter (alleler) som gör att det antingen bildas olika mycket av proteinet, eller olika effektiva proteiner. Vilken färg och nyans man har på huden, från blek-beige till kolsvart, bestäms av vilken kombination man har av dessa genvarianter.

Vistas man i solljus eller på solarier träffas huden av mycket UV-ljus. Ett varnande signalämne tillverkas då, som beordrar bildandet av mer melanin. Även miljön kan alltså påverka hur mörk huden är, genom att ge oss solbränna.

Epigenetik

Förutom själva sekvensen av baspar finns även tilläggsinformation i våra arvsanlag. Kemiska grupper, som metylgrupper, kan fästa på DNA-molekylen och på de proteiner (histoner) som DNA:t lindar sig kring. Dessa grupper påverkar då om generna de sitter vid ska kunna användas eller inte.

Denna tilläggsinformation kan påverkas av olika förhållanden i miljön (som näringstillgång och stress), och bevaras av cellerna under långa tidsperioder och över många celledelningar. Därmed kan man resten av livet påverkas av tidigare händelser och miljöer.

Det mesta av denna s.k. epigenetiska inmärkning av arvsanlagen försvinner vid befruktningen, men undantag finns, så det förekommer att egenskaper som framkallas av miljön förs vidare till kommande generationer. I skrivande stund känner man bara till enstaka exempel på sådan epigenetisk nedärvning, och det är oklart hur vanligt den är.

Kroppslängd

För att kroppen ska växa under barn- och ungdomsåren måste två hormoner bildas: tillväxthormon och IGF (insulinlik tillväxtfaktor). De är bägge proteiner och beskrivs av varsin gen. Vi vet att styrsekvensen framför genen för IGF kan binda till ett protein som reagerar på hur mycket vi har i kroppen av de så kallade essentiella (livsnödvändiga) aminosyrorna, som finns i kött, fisk och baljväxter. Mycket IGF tillverkar vi därför bara om kosten innehåller mycket sådana proteiner. Det tros vara en del av förklaringen till att nordeuropéernas genomsnittliga kroppslängd stadigt har ökat alltefter-

som vi har fått råd att äta mer kött under det senaste århundradet.

Vi vet också att det finns tiotals olika varianter av styrsekvensen hos genen för tillväxthormon som är olika starka. Och detta är bara ett av många tiotals ställen man funnit på arvsmassan, som påverkar kroppslängden. Var och en av de gener man hittills hittat påverkar dock kroppslängden mycket lite, i bästa fall ökar eller minskar de sin bärarens längd med en knapp centimeter. Kroppslängden påverkas alltså inte bara av miljön, utan också av ett mycket stort antal gener som var och en har mycket liten effekt.

Stress

Arv och miljö samarbetar inte bara när det gäller fysiska egenskaper som kroppslängd och hudfärg. Utan också för psykiska egenskaper, som hur man reglerar sitt humör och hur kroppen reagerar på stress.

När vi blir stressade kastar kroppen ut stora mängder av signalämnet kortisol i blodet. Detta vandrar in i våra celler och binder till proteiner som tar sig in i cellkärnorna, binder DNA och slår på eller stänger av användningen av många olika gener. Vilket bl.a. leder till att immunförsvaret trycks ner och att vi blir sämre på att försvara oss mot olika sjukdomar.

Hur känsliga vi är för stress varierar dock. Variationen beror bl.a. på att vi ärver olika varianter av de styrsekvenser som kortisoluppfångaren binder till. Men den beror också på saker man varit med om tidigare i livet. Hos råttor och möss som blivit illa behandlade som små (t.ex. ignorerade av sin mamma, eller tvångshållna mitt framför ansiktet på en katt) ser man att kemikalier fäster vid styrsekvenserna för viktiga gener i hjärnan, som sedan påverkar hur mycket kortisol djuren bildar. Detta gör att de senare i livet får svårt att hantera stress, och lätt blir deprimerade.

Kroppens reaktioner påverkas alltså på en och samma gång på de stressande situationer man för tillfället upplever, på vad man upplevt tidigare i livet och på vilka genvarianter man ärvt av sina föräldrar.

Reglera humöret

Låt oss avsluta med att betrakta hur vi människor reglerar vårt humör. Vårt humör styrs av ett antal olika signalämnen i hjärnan. Vi har många olika proteiner som kan tillverka, bryta ner och fånga upp dessa signalämnen, och hur mycket vi har av dessa proteiner påverkar därför naturligtvis humöret. Men hur styrs >

Se länkar till faktatexter ur Natur & Kulturs läroböcker *Insikt Biologi* och *PULS Biologi* längst ner på sidan 13.

- > mängden av dessa proteiner? Jo: (1) Vi kan ära olika varianter av de styrsekvenser, som påverkar produktionen av proteinerna. (2) Händelser tidigare i livet kan ha gjort att det fästs kemiska grupper vid dessa styrsekvenser som påverkar hur mycket vi sedan kan bilda av proteinerna. (3) Det som händer i dag påverkar vilka proteiner som kommer att finnas inne i nervcellernas kärnor, och som kan binda till dessa styrsekvenser.

Produktionen av de proteiner som styr vårt humör kan alltså på en och samma gång påverkas av de genvarianter vi ärvt från våra förfäder, hur våra föräldrar behandlade oss när vi var små och vad läraren eller pojkvännen sagt för fem minuter sedan.

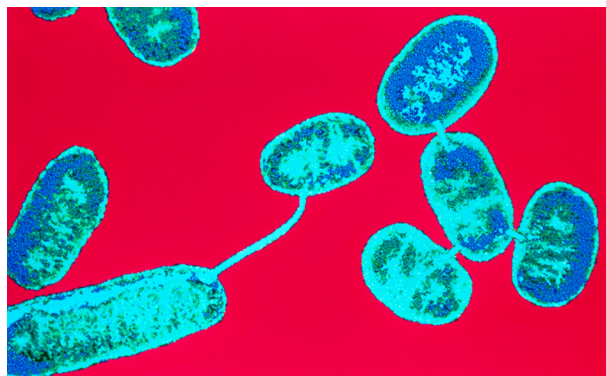
Bakteriesex

Även så till synes enkla varelser som bakterier har ett slags sex. Men inte för att föröka sig. Utan för att en vuxen individ ska kunna byta ut delar av sina arvs-anlag mot någon annan bakteries. Det kan ske på två olika sätt:

Sex med könsutskott. Somliga bakterier har förmåga att bilda speciella utskott (s.k. könspili) som kan gripa tag i en bakterie av samma art, dra den till sig och skapa en öppning mellan bakterierna. Sedan kopierar bakterien med utskottet delar av sin DNA-molekyl och för in kopian i den cell den har gripit tag i (denna process kallas konjugation). Den mottagande bakterien kommer därmed att få både sin egen och en del av sin partners DNA-molekyl.

De två DNA-molekylerna kommer då att lägga sina homologa (liknande) delar bredvid varandra, varpå något sker som påminner om överkorsningen vid meios – båda kedjorna klipps av och klistras korsvis ihop med varandra igen. Därmed kommer delar av den mottagande bakteriens arvsanlag att ha bytts ut mot motsvarande delar från den givande bakteriens.

Sex med döda. Många bakterier kan ta upp fritt DNA från omgivningen (vilket kallas transformation). Om detta DNA har sekvenser som påminner om bakteriens eget DNA kan även i detta fall det upptagna DNA:t läggas bredvid homologa delar av bakteriens ursprungliga DNA och klistras in. När bakterier träffar på fritt DNA kommer det nästan alltid från andra celler som har dött som inte alls behöver vara av samma art som den bakterie som tar upp DNA:t.



En bakterie av arten *Escherichia coli* överför DNA till en annan.

Könsbunden nedärvning

De nedärvningsmönster du hittills studerat har uppvisat en autosomal nedärvning. Nu ska vi i stället studera gener som ärvs könsbundet, det vill säga som är lokaliserade på könskromosomerna X (vanligast) eller Y. Hos människor och de flesta andra djur ger genotypen XX honligt kön.

Genotypen XY ger i stället manligt kön. Både X- och Y-kromosomen innehåller gener men det är stor skillnad i storlek mellan dessa båda kromosomer och de skiljer sig också åt i fråga om vilka gener som finns på respektive kromosom. X-kromosomen är mycket större än Y-kromosomen och innehåller många fler gener. Y-kromosomen bär bl.a. gener som bestämmer manligt kön medan X-kromosomen bär många fler gener som t.ex. de som styr normalt färgseende, förmågan för blodet att levra sig m.m.

Termen könsbundet arv kommer sig av att vissa gener finns på könskromosomerna är bundna till könet och eftersom X-kromosomen innehåller många fler gener än Y-kromosomen och gener som saknas på Y-kromosomen räcker det för individer av hanligt kön att få en enda recessiv allel för en viss egenskap för att den ska slå igenom fenotypiskt.

Exempel på tillstånd som är könsbundna är: färgblindhet, blödarsjuka (hemofili) samt Duchennes muskeldystrofi.

Se länkar till faktatexter ur Natur & Kulturs läroböcker *Insikt Biologi* och *PULS Biologi* längst ner på sidan 13.

Nedan sammanfattas ett antal regler som kan vara bra att veta vid problemlösning av uppgifter med könsbunden nedärvning:

- Honligt kön har XX, manligt kön XY. Honor kan bara producera äggceller som bär på X-kromosomer, medan hanars spermier bär på X eller Y-kromosomer.
- Individer av honligt kön kan vara såväl homozygota som heterozygota. Eftersom individer av hanligt kön bara har en X-kromosom kan de varken vara homozygota eller heterozygota för egenskapen i fråga.
- En individ av honligt kön som har allelen men inte uppvisar den fenotypiskt kallas ibland för bärare av allelen.
- Eftersom Y-kromosomen saknar huvuddelen av de gener som finns på X-kromosomen, brukar man säga att gener som finns på X-kromosomen är könsbundna.

Exempel

Röd-grön färgblindhet är ett recessivt könsbundet tillstånd. En färgblind man får barn med en kvinna som är heterozygot för tillståndet i fråga (hon är bärare av anlaget). Paret får två barn – en pojke och en flicka. Vad är sannolikheten för att dessa ska bli färgblinda?

Lösning

Allel för normalt färgseende: F Allel för färgblindhet: f

Gör en sådan här tabell

Spermier \ Ägg	X^F	X^f
X^f	$X^F X^f$ Normalt seende flicka, bärare	$X^f X^f$ Färgblind flicka
Y	$X^F Y$ Normalt seende pojke	$X^f Y$ Färgblind pojke

Svar

Sannolikheten för att de ska få en färgblind flicka är 50 % och för att de ska få en normalt seende flicka som är bärare är 50 %.

Övningar

1. Ett par där båda är färgseende får fyra barn varav ett är färgblind.
Visa hur detta kan stämma.
2. Blödarsjuka (hemofili) är en ärftlig sjukdom som gör att blodet inte koagulerar, med förhöjd risk att förblöda som följd. En kvinna och en man som inte har blödarsjuka får en son som drabbas av sjukdomen. Ta reda på sannolikheten att dessa föräldrar ska få döttrar respektive söner som är drabbade av blödarsjuka.
3. En viss art afrikanska myror kan ha antingen röda eller svarta ögon. En hona med röda ögon parar sig med en hane med röda ögon. Alla avkommor av honligt kön får röda ögon medan hälften av avkommorna av hanligt kön får röda ögon och hälften svarta ögon. När samma hona istället paras med en hane med svarta ögon får hälften av de manliga avkommorna röda ögon liksom hälften av de honliga avkommorna. Förklara detta med genetiska korsningsscheman.

Dihybrid klyvning

Nu ska vi studera hur man kan ärva två olika egenskaper som är belägna på två olika kromosomer, något som kallas dihybrid nedärvning eller klyvning. I princip följer man nedärvningen av två egenskaper på samma sätt som när man följer nedärvningen av en egenskap. Den stora skillnaden är dock att vi kommer att få fyra gånger fler kombinationsmöjligheter eftersom vi nu studerar två egenskaper. Det är här Mendels andra lag kommer in, nämligen den om att de olika allelerna i genparen ärvs oberoende av varandra och att de slumpvis blandas under meiosen.

I ett annat klassiskt försök utfört av Mendel utgick han från runda, gula ärter som korsades med skrynkliga gröna ärter (P-generationen). Vi ska ta reda på proportionerna av de kombinationer som uppstår i F2 då man korsar dessa först med varandra och sedan låter F1 självbefrukta.

R = runda
r = skrynkliga
G = gula
g = gröna

Fenotyp	Runda, gula	Skrynkliga, gröna
P (genotyp)	RRGG	rrgg
Gameter	RG	rg

Korsningsschema

Förälder 1 Förälder 2	RG
rg	RrGg

Genotypen för samtliga individer i F1-generationen blir RrGg. Fenotypiskt är dessa runda och gula. I en dihybrid korsning mellan en dominant dubbelhomozygot och en recessiv dubbelhomozygot blir klyvningstalet: 1:1:1:1

De resulterande könscellerna som kan bildas av F1-generationen:

Gameter RG Rg rG rg

Förälder 1 Förälder 2	RG	Rg	rG	rg
RG	RRGG	RRGg	RrGG	RrGg
Rg	RRGg	RRgg	RrGg	Rrgg
rG	RrGG	RrGg	rrGG	rrGg
rg	RrGg	Rrgg	rrGg	rrgg

Proportioner:

9 gula och släta ärter

3 gröna och släta ärter

3 gula och skrynkliga ärter

1 grön och skrynklig ärt

I en dihybrid korsning mellan två »dubbelheterozygoter«

blir klyvningstalet 9:3:3:1

Övningar

4. Boakaniner kan vara antingen gråa eller vita samt ha antingen långa eller korta öron. Tabellen nedan visar resultatet då man korsade individer ur F1-generationen med varandra. Vi vet att föräldrarna tillhörande P-generationen var dubbelhomozygoter, honan hade långa öron och var grå, hanen hade korta öron och var vit.

Fenotyp	Långa öron och grå pälsfärg	Korta öron och grå pälsfärg	Långa öron och vit pälsfärg	Korta öron och vit pälsfärg
Antal individer i F2-generationen	174	64	66	22

- a) Bestäm genotyperna på individerna i P-generationen.
 b) Bestäm genotyperna för individerna i F1-generationen.
 c) Gör ett korsningsschema och bestäm genotyper, fenotyper samt klyvnings-tal för individerna i F2-generationen. Hur stämmer det teoretiska klyvnings-talet med det som erhålls i tabellen?
5. Hos Boarydsgrisar kan öronen antingen vara upprättstående (dominant anlag) eller hängande (recessivt anlag). Deras pälsfärg kan vara antingen gråsvart eller vit, där gråsvart pälsfärg är dominant över vit. En gris med upprättstående öron och vit pälsfärg korsades med en gråsvart gris med hängande öron.

Deras avkommor hade följande fenotyper (F1-generationen):

- 3 kulingar med upprättstående öron och gråsvart pälsfärg
- 4 kulingar med hängande öron och gråsvart pälsfärg
- 3 kulingar med upprättstående öron och vit pälsfärg
- 3 kulingar med hängande öron och vit pälsfärg

Bestäm föräldrarnas genotyper (P-generationen).

Hur fungerar arvsanlagen?

[Klicka här >>](#)

Uppgift: Bruna eller blå ögon?

[Klicka här >>](#)

Om husdjursavel

[Klicka här >>](#)

Om urval (evolution)

[Klicka här för del 1 >>](#)

[Klicka här för del 2 >>](#)