

Lidt cellebiologi

Bakterierne er de simpleste nulevende organismer. De er encellede, og deres arveanlæg ligger som et ringformet kromosom i cytoplasmaet (celleslimen). Hos mere avancerede celler ligger arveanlæggene som stavformede kromosomer i en kerne. Organismer uden kerne kaldes prokaryoter (= før kerne), mens organismer, hvis celler indeholder en kerne, kaldes eukaryoter (= med egentlig kerne). Se side 26.

Livsformerne kan opdeles i tre celledomæner. Prokaryoter omfatter de to første celledomæner, egentlige bakterier (eubakterier) og archaeobakterier. Sidstnævnte lever oftest i ekstreme miljøer, fx med kraftig varme eller høj saltholdighed. Fra prokaryoterne udvikledes organismene i det tredje celledomæne, eukaryoterne, der har cellekerne, stavformede kromosomer og forskellige små strukturer (organeller) i cytoplasmaet. Denne

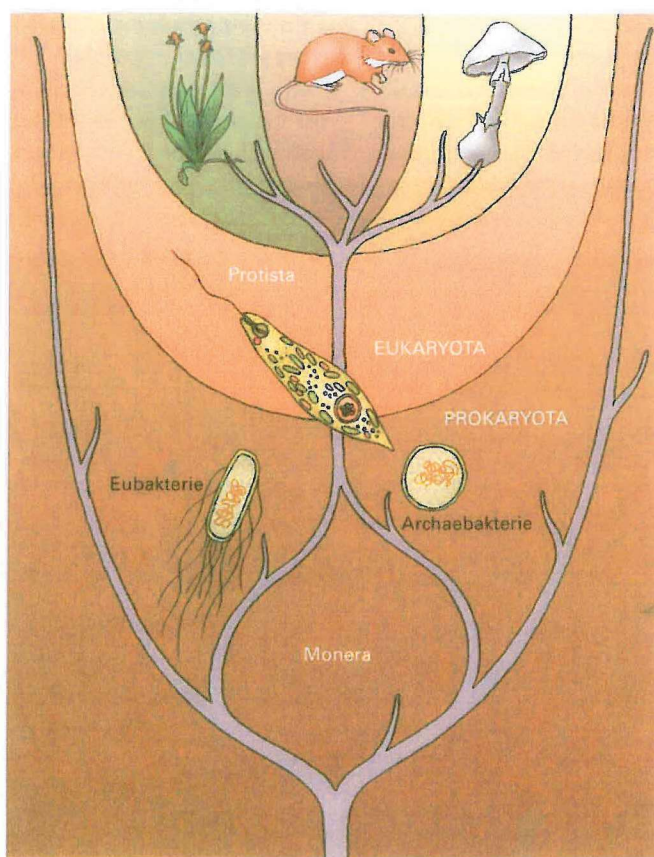
celletype findes i protister, planter, dyr og svampe.

Man opdeler også livsformerne i fem riger: Monera (eu- og archaeobakterier), Protista (encellede eukaryoter og alger), Plantae (planter og grønalger), Animalia (dyr) og Fungi (svampe).

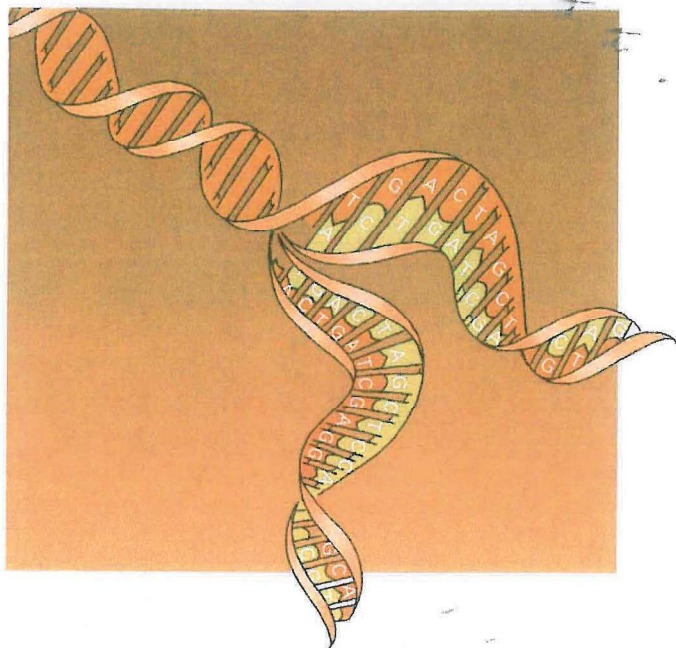
Kromosomer

Arveanlæggene findes som DNA (deoxyribonukleinsyrer) i bakteriernes ringformede kromosom og i kromosomerne i den eukaryote celledens kerne. DNA findes i fire varianter, de såkaldte nukleotider, som enten indeholder adenin, thymin, cytosin eller guanin (forkortet hhv. A, T, C og G). A, T, C og G er organiske baser. I et kromosom ligger DNA som en dobbeltstreng, hvor A er parret med T og C med G. Rækkefølgen af A, T, C og G koder for den arvelige information i generne.

Mennesket har 23 forskellige slags kromosomer, som findes i to sæt i vore kropsceller. Man siger, at menneskets kromosomtallet er $2N = 46$. Det ene sæt stammer fra moderen, det andet fra faderen. De 44 kromosomer er såkaldt somatiske kromosomer (soma = krop), mens de to sidste er kønskromosomer. Fra moderen arves altid et X-kønskromosom, mens faderen leverer enten et X- eller et Y-kønskromosom. Et menneske med to X-kønskromosomer er af hunkøn, mens forskellige kønskromoso-



◀ De fem riger



◀ Kromosomkopiering

om det er moderens eller faderens kromosom, der går til en bestemt kønscelle. Ydermere kan der i løbet af processen ske såkaldte overkrydsninger mellem kromosomerne, så dele af moder- og faderkromosomet bytter plads.

Kønscellerne indholder altså en tilfældig kombination af arvemateriale fra individets forældre. Afkommet arver på den måde nogle gener fra dets farmor, andre fra farfar, nogle fra mormor og andre fra morfar. Den tilfældige blanding af arveanlæggene, når der dannes kønsceller, er med til at skabe variation mellem søskende og dermed mellem individerne hos en art.

Celledelingen, der fører til kønsceller, kaldes reduktionsdeling (meiose). Når en sædcelle afleverer sine kromosomer til ægcellen, får den befrugtede ægcelle (zygoten) det karakteristiske antal kromosomer for en kropscelle ($2N$), hos mennesket 46.

mer (XY) resulterer i hankøn. Hos fuglene er det modsat. Her har hunnerne forskellige kønskromosomer (ZW), mens hannerne har ens kønskromosomer (ZZ).

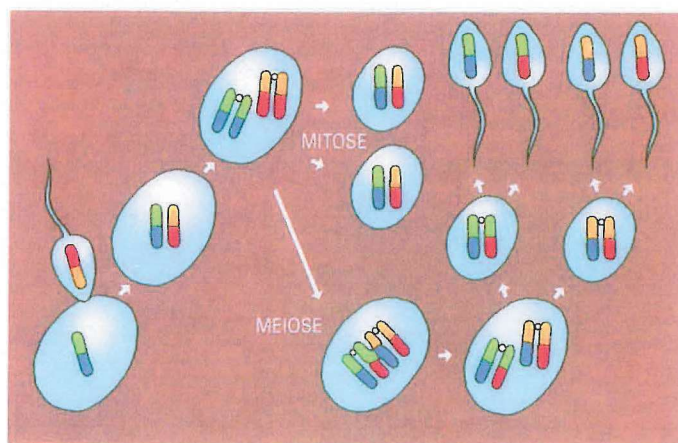
Celledeling

Når en celle deler sig i to, bliver dens arveanlæg forinden kopieret, så de nye celler hver kommer til at indeholde arveanlæg, der er identiske med den gamle celled. Denne form for celledeling kaldes mitose. Kopieringen sker ved, at DNA-dobbeltstrengen åbner sig ligesom en lynlås, og at der på hver af de frie nukleotider i de to strenge sætter sig den rigtige partner, A på T, T på A, C på G og G på C. På den måde får hver streng i den gamle dobbeltstreng en ny streng som partner.

hver slags kromosom, hos mennesket altså et af hver af de 22 somatiske kromosomer og et af kønskromosomerne. Hunnen leverer et af sine X-kromosomer til ægcellen, mens hannen leverer enten et X- eller et Y-kromosom til sædcellen. Når kromosomerne, der oprindeligt kom fra organismens mor eller far, fordeles til kønscellerne, er det helt tilfældigt,

Kønsceller

Når et dyr skal formere sig, dannes æg- eller sædceller, som kun indeholder en enkelt udgave af



Fra gen til protein

Arveanlæggene indeholder koden til dannelse af proteiner (æggehvide-stoffer). Kromosomernes DNA-streng er delt op i gener. I hvert gen koder rækkefølgen af A, T, C og G for rækkefølge og art af aminosyrer, der skal indgå i proteinet. Proteiner tjener som byggesten under den befrugtede ægcelles udvikling til et nyt individ og til individets vækst, vedligeholdelse og formering. Mange proteiner er enzymer, som fremmer biokemiske processer. Hvert enzym har som regel kun virkning på en bestemt biokemisk proces.

Proteindannelsen begynder med, at genets nukleotid-rækkefølge kopieres til et såkaldt mes-

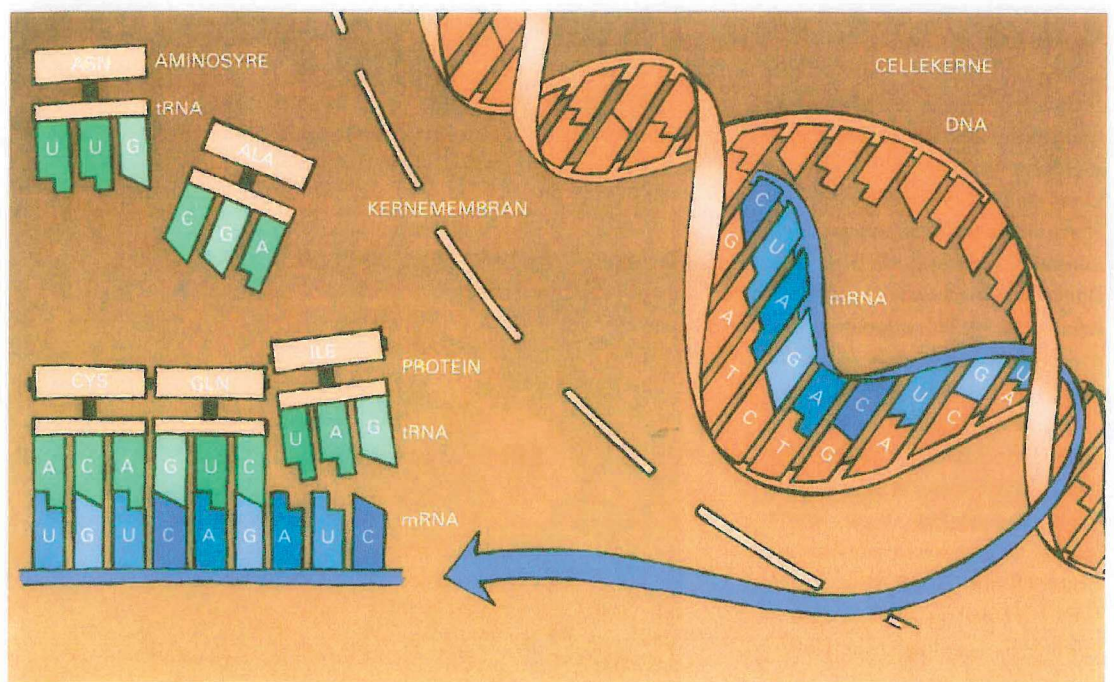
senger-RNA-molekyle (mRNA), på samme måde som dobbeltstrengen ved celledeling får en ny DNA-partner. Den eneste forskel er, at RNA (ribonukleinsyre) i stedet for thymin indeholder basen uracil (U). Et gen med rækkefølgen ACAGTCTAG bliver derfor kopieret til mRNA-rækkefølgen UGUCAGAUC.

Messenger-RNA-strengen vandrer derefter ud af cellekernen og går i forbindelse med cellens proteinfabrik, det såkaldte ribosom. Her bliver mRNA-nukleotidernes rækkefølge aflæst. Tre og tre (de såkaldte tripletter) koder nukleotiderne for en aminosyre. Da der er fire forskellige nukleotider, bliver

der på den måde $4 \times 4 \times 4 = 64$ forskellige koder. Imidlertid indeholder naturlige proteiner kun 20 forskellige aminosyrer, så nogle tripletter koder for samme aminosyre, mens andre er stop-koder, som signalerer, at proteinet er færdigdannet. UGU koder for aminosyren cystein, CAG for glutamin og AUC for isoleucin.

Aminosyrekæden bliver opbygget ved, at såkaldte transfer-RNA-molekyler (tRNA) bringer aminosyrerne til ribosomet. Et tRNA-molekyle har i den ene ende en triplet af nukleotider og i den anden ende en aminosyre. Hvis ribosomet aflæser tripletten UGU på mRNA-strengen, vil et tRNA-molekyle med den

Proteinsyntesen



1. base		2. base		3. base	
U	U	C	A	G	
	UUU phenylalanin (phe)	UCU serin (ser)	UAU tyrosin (tyr)	UGU cystein (cys)	U
	UUC	UCC	UAC	UGC	C
	UUA leucin (leu)	UCA	UAA stopkode	UGA stopkode	A
	UUG	UCG	UAG stopkode	UGG tryptophan	G
C	CUU feucin (leu)	CCU protin (pro)	CAU histidin (his)	CGU arginin (arg)	U
	CUC	CCC	CAC	CGC	C
	CUA	CCA	CAA glutamin (gin)	CGA	A
	CUG	CCG	CAG	CGG	G
A	AUU isoleucin (ile)	ACU threonin (thr)	AAU asparagin (asn)	AGU serin (ser)	U
	AUC	ACC	AAC	AGC	C
	AUA	ACA	AAA lysin (lys)	AGA arginin (arg)	A
	AUG methionin (met)	ACG	AAG	AGG	G
G	GUU valin (val)	GCU alanin (ala)	GAU asparaginsyre (asp)	GGU glycin (gly)	U
	GUC	GCC	GAC	GGC	C
	GUA	GCA	GAA glutaminsyre (glu)	GGA	A
	GUG	GCG	GAG	GGG	G

Aminosyrer og deres mRNA-koder.

modsvarende triplet ACA blive tiltrukket. I den anden ende af tRNA-molekylet sidder aminosyren cystein, som bliver koblet sammen med den allerede dannede streng af aminosyrer. Tripletten CAG tiltrækker et tRNA-molekyle med tripletten GUC, som i den anden ende har aminosyren glutamin, der hæftes på aminosyrekæden osv., indtil en stopkode-triplet fortæller, at proteinet er færdigdannet.

På den måde omsættes et gen i DNA-strengen via mRNA og tRNA til en streng af aminosyrer, et protein. Gener koder altså for proteiner. Der er derimod ingen proces, som går den modsatte vej. Organismen kan altså ikke påvirke arveanlæggene. Derfor kan erhvervede egenskaber ikke nedarves.

Med ganske få undtagelser koder de samme nukleotid-tripletter for de samme aminosyrer i alle undersøgte organismer. Det udnyttes fx, når man indsætter genet for insulin i bakterier eller gærceller, som så producerer insulin til behandling af sukkersyge. Tidligere måtte insulin udvindes af bugspytkirtler fra okser eller svin.

Når alle organismer (med undtagelse af nogle afvigelse hos mitokondrier og ciliater) bruger den samme genetiske kode til at oversætte fra DNA til aminosyrer, kan det kun skyldes, at de alle nedstammer fra en og samme organisme og har arvet koden fra den.

Mutationer

Under kopieringen af DNA ved celledelinger kan der ske fejl. Hvis

fejlene sker ved deling af kropsceller, taler man om somatiske mutationer. De har kun indflydelse på det individ, de sker i. I nogle tilfælde resulterer somatiske mutationer i kræft.

Mutationer i kønsceller vil overføres til afkommet og kan på den måde resultere i nye karaktertræk. Disse kan gøre afkommet bedre til at klare sig og producere afkom, hvoraf noget vil arve den nye mutation. Imidlertid har de allerfleste mutationer negative effekter, ofte så store, at kønscellerne slet ikke kan fungere.

Hvis der fx sker en mutation i genet ACAGTCTAG, så det første A ved en fejl bliver udskiftet med et G, vil sekvensen blive GCAGTCTAG, og den tilsvarende mRNA sekvens CGUCAGAUC i stedet

for UGUCAGAU. CGU koder for aminosyren arginin, mens UGU koder for cystein. Hvad det vil betyde for organismen, ved vi ikke. I sjældne tilfælde kan det resultere i noget positivt, men i de fleste vil det have negative konsekvenser. Mutationer, som udskifter et enkelt nukleotid med et andet, gør dog i mange tilfælde ingen forskel, fordi flere forskellige tripletter koder for samme aminosyre. Fx koder mRNA-tripletten UCX for serin, hvad enten der sidder A, C, G eller U på X's plads. Det samme gælder for mRNA-tripletterne CUX, GUX, CCX, ACX, GCX, CGX og GGX. Mutationer på X's plads kaldes neutrale, da de ikke ændrer proteinets sammensætning.

Mere voldsomme mutationer kan bestå i, at dele af et kromosom forsvinder eller fordobles, eller at en del af et kromosom vendes om.

Selvom de fleste mutationer har uheldige virkninger, er det udelukkende de sjældne positive mutationer, der er skyld i den variation, som den naturlige udvælgelse har haft at arbejde med fra livets begyndelse, og som har resulteret i den mangfoldighed af livsformer, der siden er fremkommet. Mutationerne opstår tilfældigt og leverer altså den variation, som den naturlige udvælgelse kan vrage og vælge imellem.

Det molekylære ur

Mutationer sker med mere eller mindre konstant hyppighed. Når to organismer udvikler sig i hver deres retning fra deres stamfader, vil de derfor i et givet tidsrum rammes af omtrent lige mange mutationer. De skadelige mutationer vil blive sorteret fra, mens de ganske få gavnlige og nogle af de neutrale bevares.

Ved at optælle forskellene i generne mellem sådanne organismer kan man få et tal for antallet af mutationer, og hvis man er så heldig at kende alderen på deres fælles stamfader gennem fossilsfund, kan man udregne mutationshyppigheden. Man har fået et såkaldt molekylært ur.

Det molekylære ur kan derefter bruges til at beregne alderen på fælles stamformer for andre organismer, idet antallet af ændringer i generne hos organismerne er proportionalt med alderen af deres fælles stamfader. På den måde har man fx beregnet, at eu- og archaeobakterier udspaltedes for 3,5-4 mia. år siden.

▼ Kermode-bjørnen er en hvid variant af sort bjørn. Den hvide pelsfarve skyldes et vigende gen, som derfor skal findes i begge kromosomsæt. Fotos: T. og P. Leeson/FOCI (tv) og T. Kitchin og V. Hurst/NHPA.

