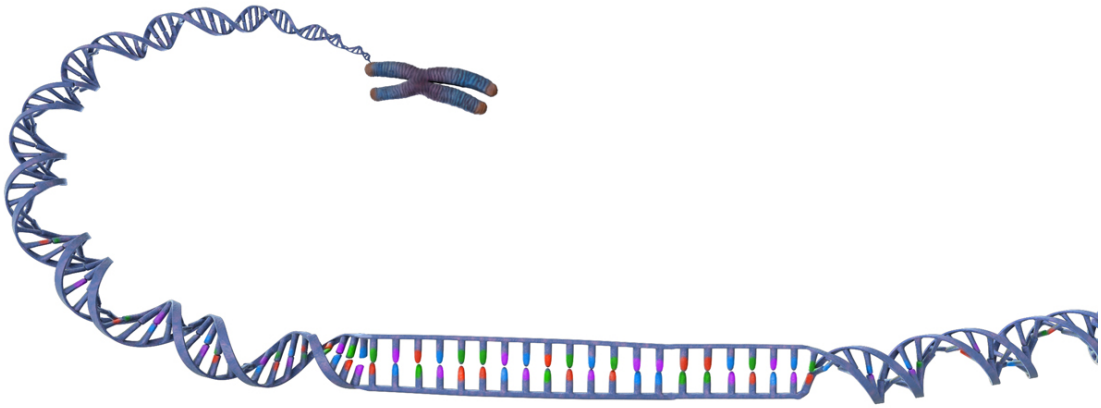
Genteknikmnden
The Swedish Gene Technology Advisory Board

Genteknikens utveckling 2014



Copyright illustrationer Gunilla Elam.
Copyright logotyp Genteknikmnden.

Genteknikmnden, Karolinska Institutet Science Park, Fogdevreten 2A, 171 65 Solna
Informationsskrift publicerad i elektronisk form som pdf på nätet. Vårt diarienummer: 009/2015-3.1.1

Om du vill referera till *Genteknikens utveckling 2014* skriver du:
Genteknikmnden. (2015). *Genteknikens utveckling 2014*.

Inledning

Genteknikn ämnden ska varje år, i samband med årsredovisningen, lämna en översiktlig beskrivning av utvecklingen inom genteknikområdet, under det senaste räkenskapsåret, till regeringen. Referaten i rapporten bygger till största del på vetenskapliga artiklar publicerade i internationella tidskrifter. För den intresserade finns referenser till originalartiklarna i slutet av rapporten.

Samtliga nummer av de inflytelserika och breda tidskrifterna som exempelvis *Nature* och *Science*, och välrenommerade, mer specialiserade tidskrifter som *Nature Biotechnology*, *Cell* och *Plant Biotechnology Journal* har gåtts igenom. Vissa tidskrifter ges ut en gång i månaden, andra en gång i veckan. Totalt följs regelbundet ett 30-tal tidskrifter. Via dessa tidskrifter och nyhetssajter som till exempel *Science Daily*, har artiklar i andra tidskrifter plockats upp. Utifrån dessa tidskrifter och nyhetssajter har vi sett trender och fångat upp forskningsområden som det satsas på just nu. Under 2014 tog forskning kring ebola ett stort utrymme. Förutom den naturvetenskapliga litteraturen har utvecklingen rörande bland annat lagstiftningen inom EU följts.

Genteknikn ämnden har i uppdrag att bevaka utvecklingen på genteknikområdet, bevaka de etiska frågorna och ge råd om användningen av gentekniken. Fokus i rapporten *Genteknikens utveckling* är på den tekniska utvecklingen och den naturvetenskapliga forskningen.

Genteknikn ämnden, februari 2015

Innehållsförteckning

1 Mikroorganismer 7
1.1 Mikrobiom 7
1.1.1 Bakterier tycks påverka vilken mat vi äter 7
1.1.2 En persons arvsmassa tycks påverka mikrobiomet 8
1.1.3 Nytt antibiotikum upptäckt i vaginans mikrobiom 8
1.1.4 Mikrobiomet i våra hem 8
1.1.5 Mikrobiomet hos ett jägar- och samlarfolk 8
1.1.6 Kartläggning av Östersjöns mikroorganismer 8
1.1.7 Växters mikrobiom 9
1.1.8 Övertolkning av forskningsresultat 9
1.1.9 Forskare varnar för förorenade prover 9
1.2 Modifierade bakterier signalerar närvaro av antibiotika 10
1.3 Syntetisk jästkromosom fungerar som den naturliga 10
1.4 Akne-bakterie som lever i symbios med druva 10
1.5 Genmodifierade bakterier omvandlar växtmaterial direkt till biobränsle 11
1.6 DNA med nya byggstenar 11
1.7 Svampars mångfald över jorden 11
1.8 Flimmerdjuret som bryter ner sitt DNA i en kvarts miljon bitar och bygger upp det igen 12
2 Evolution 13
2.1 Fåglars evolution 13
2.2 Människans evolution 13
2.2.1 Sekvensbestämning av 7 000 år gammal jägare-samlare 14
2.2.2 Den hittills äldsta mänskliga arvsmassa har analyserats 14
2.2.3 Komplett kartläggning av neandertalares arvsmassa 14
2.2.4 Ny metod för att skilja DNA av olika ålder från varandra 15
2.3 Växters evolution 15
2.3.1 Överföring av DNA mellan olika växtarter 15
2.3.2 Nya växtarter via naturlig ympning? 16

3 Djur 17
3.1 Insekter och parasiter 17
3.1.1 Genmodifierade myggor för att bekämpa denguefeber 17
3.1.2 Myggor använder mottagarprotein i antennerna för att hitta till människor 17
3.1.3 Genmodifierad malariaparasit som tänkbart vaccin 18
3.1.4 Ny teknik gör det enklare att studera malariaparasiten 18
3.1.5 Arvsmassan hos 16 arter av myggor sekvensbestämd 18
3.2 Odlat kött och mjölk utan djur 19
3.3 Hundar – vita tecken och hörselnedsättning 19
4 Människan och medicinen 21
4.1 Ebolaviruset 21
4.1.1 Virusutbrottets källa 21
4.1.2 Sekvensbestämning ger information om ebolaviruset 21
4.1.3 Tillverkning av läkemedel mot ebolaviruset i tobaksplantor 22
4.1.4 Kliniska prövningar av läkemedel, vaccin och plasma 22
4.2 Sjukdomsgenetik 23
4.2.1 Nationell satsning på genomsekvensering 23
4.2.2 Länk mellan rökning, förlust av Y-kromosomen och cancer 23
4.2.3 Världens äldsta tumör har sekvensbestämts 24
4.2.4 Förändring av ett mottagarprotein leder till en aggressivare form av neuroblastom 24
4.2.5 Genetik och schizofreni 24
4.3 Genterapi med hjälp av CRISPR/Cas9-tekniken 25
4.3.1 Redigering av blodstamceller kan vara en ny strategi mot HIV 25
4.3.2 Genterapi mot leversjukdom i möss 25
4.3.3 Riktade mutationer i apors gener 26
4.4 Stamceller och regenerativ medicin 26
4.4.1 Stamceller blir insulinproducerande betaceller 27
4.4.2 Studier av Alzheimers sjukdom i odlade nervceller 28
4.4.3 Korrigering av sjukdomsgen i humana blodstamceller 28
4.4.4 Nya nervceller kan bildas i ryggmärgen 29
4.4.5 Forskare transplanterar odlad matstrupe i råtta 29
4.4.6 Artificiellt blod 29

5 Växter **31**
5.1 Kommersiell odling av genetiskt modifierade grödor 31
5.2 Växtskadegörare 33
5.2.1 Bakterien *Bacillus thuringiensis* och *Bt*-grödor 33
5.2.2 *Bt*-grödors påverkan på icke-målorganismer 33
5.2.3 Resistensutveckling i insektspopulationer 34
5.2.4 Bladmögelresistent potatis med gener från vilda släktingar 35
5.2.5 Fältförsök med genmodifierade, bakterieresistenta bananer 36
5.3 Livsmedels- och fodersäkerhet 36
5.3.1 Foder som innehåller genmodifierade grödor har inte påverkat djurens hälsa 36
5.3.2 Resultat från EU-finansierad råttstudie 37
5.4 De gyllene bananerna 38
5.5 Gener från cyanobakterie gör fotosyntesen effektivare 38
5.6 Arvsmassor hos kålväxter 38
5.7 Så kan kunskapen om arvsmassan användas i växtförädling 39
5.8 Växter som saknar kloroplast-DNA 39
5.9 Genmodifierad kastanj med bättre skydd mot sjukdom 39
5.10 Genmodifierad asp som blommar tidigt 40
5.11 Reglering av fosfatupptag i växter 40
6 Lagstiftningsfrågor **41**
6.1 Nya tekniker och GMO-lagstiftningen 41
6.1.1 Hur vissa nya tekniker bedöms i USA 42
6.1.2 Mjöldaggsresistent vete med hjälp av riktade mutationer 43
6.1.3 Ändrad fettsyrasammansättning med riktade mutationer 43
6.1.4 Växter som feromon-fabriker 43
6.1.5 Genmodifierade potatisar och äpplen 44
6.2 Ny glyfosat-tolerant sojaböna utan patent 44
6.3 Alfalfa med lägre ligninhalt godkänd i USA 44
6.4 Märkning av GMO 45
6.5 Medlemsstaternas rätt att förbjuda odling av genmodifierade grödor 45
7 Sekvensbestämda arvsmassor **47**
8 Ordlista **53**
9 Referenser **57**
Bilagor

1 Mikroorganismer

1.1 Mikrobiom

Mikroorganismer är organismer som är osynliga för blotta ögat. Till gruppen mikroorganismer räknas till exempel bakterier, amöbor och vissa svampar och alger. Ordet mikrobiom används för att beskriva alla mikroorganismer i en viss miljö. Det kan också användas för att beskriva den sammanlagda arvsmassan av alla mikroorganismer i en viss miljö. Mikrobiom finns överallt, till exempel i och på människokroppen, i och på växter, i marken och i haven.

Människokroppen är ett hem för triljoner bakterier och andra mikroorganismer. Det är många fler än de biljoner celler våra kroppar är uppbyggda av. Vissa mikroorganismer är skadliga men de flesta är livsnödvändiga. Människan lever i symbios med mikroorganismerna.

I ett storskaligt forskningsprojekt, *Human Microbiome Project*, undersöks mikroorganismerna som lever i och på olika delar av kroppen.[1] Andra projekt är *Earth Microbiome Project* som studerar naturmiljöer världen över,[2] *Hospital Microbiome Project*[3] och *Home Microbiome Study*[4] som analyserar mikrobiomen i sjukhusmiljö respektive hemmiljö och *Seagrass Microbiome Project*[5] där sjögräsens mikrobiom studeras.

Många mikroorganismer kan inte odlas i laboratorium. Därför har det tidigare varit omöjligt att artbestämma dem. Utvecklingen av tekniker för storskaliga analyser av DNA har gjort det möjligt att avgöra vilka arter som finns i en viss miljö. Detta genom att sekvensbestämma och analysera allt DNA i till exempel mag-tarmkanalen eller i ett jordprov. Denna typ av metod kallas metagenomik och ger en bild av vilka arter det rör sig om och deras relativa förekomst.

1.1.1 Bakterier tycks påverka vilken mat vi äter

Olika arter av mikroorganismer kräver olika näringsämnen och redan 24 timmar efter en förändrad diet kan skillnader i förekomsten av olika arter i människans mag-tarmsystem observeras. Ett exempel är bakterier som kan bryta ner alger, en populär ingrediens i den japanska dieten. Allt eftersom individen äter alger, blir de bakterier som kan bryta ner dem fler. Bakterierna i sin tur utsöndrar signaler att de vill ha mer näring och individen blir sugen på alger och äter mer. Det tycks alltså vara så att bakterierna i mag-tarmsystemet i viss mån kan styra vad vi blir sugna på. Forskarna menar att en förändring av mikrobiomet genom ett förändrat matintag potentiellt kan vara till hjälp för den som vill gå ner i vikt.[6]

1.1.2 En persons arvsmassa tycks påverka mikrobiomet

Under året presenterades forskningsresultat som pekar mot att inte bara dieten, utan även en individs arvsmassa skulle kunna påverka mikrobiomets sammansättning. Forskarna analyserade mikrobiomen hos enäggstvillingar och tvääggstvillingar. Resultaten visar bland annat att enäggstvillingars mikrobiom är mer lika varandra än tvääggstvillingars. Det kan tyda på att en individs arvsmassa kan påverka mikrobiomet.[7]

1.1.3 Nytt antibiotikum upptäckt i vaginans mikrobiom

Forskare har utvecklat en matematisk modell för att upptäcka mikroorganismer som innehåller gener för små molekyler som skulle kunna användas vid läkemedelsproduktion. De hittade över 3 000 gener, bland annat genen för ett nytt antibiotikum som kallas lactocilin. Lactocilin-genen hittade forskarna i *Lactobacillus gasseri*, en bakterie som finns i vaginans mikrobiom. Enligt forskarna visar studien hur bioinformatik kan användas för att hitta mikroorganismer som producerar molekyler av värde för läkemedelsproduktion. Bioinformatik är ett tvärvetenskapligt ämne där datavetenskap och matematik möter biologin.[8]

1.1.4 Mikrobiomet i våra hem

Det USA-baserade projektet *Home Microbiome Project* har undersökt sju familjer och deras hem under sex veckor. 1 625 prover samlades in från hus, de människor som bodde där och deras husdjur. Resultaten visade att ett hus mikrobiom härstammade från den familj som bodde där. När en ny familj flyttade in etablerade sig snabbt deras mikrobiom. Forskarna menar att man kan prata om ett mikrobiellt fingeravtryck.[9]

1.1.5 Mikrobiomet hos ett jägar- och samlarfolk

Ett internationellt forskarlag har analyserat mikrobiomet i mag-tarmkanalen hos Hazda-folket i Tanzania. Resultaten visar att de människor som tillhör detta jägar- och samlarfolk har ett unikt mikrobiom. Det är anpassat för att bryta ner fibrer från deras växtrika diet och mikroorganismerna i mag-tarmkanalen hjälper troligen människorna att omvandla en stor del av den hårdsmälta maten till energi.

Forskarna kunde observera skillnader mellan män och kvinnor. Männen i samhället jagar vilt och samlar in honung medan kvinnorna samlar in ätbara växter. Männen och kvinnorna delar på maten men eftersom de troligen äter mer av det de själva har jagat eller samlat in, skiljer sig mikrobiomet åt mellan män och kvinnor. Resultaten tyder också på att det kan behövas en omvärdering av vilka bakterier som är dåliga respektive bra för hälsan. Trots att de undersökta personerna av Hazda-folket var friska hade de höga nivåer av bakterien *Treonema* som i industriländer ofta associeras med sjukdom och saknade *Bifidobacterium* som vanligtvis associeras med hälsa.[10]

1.1.6 Kartläggning av Östersjöns mikroorganismer

En forskargrupp vid Stockholms universitet har i samarbete med *Craig Venter*-Institutet i USA identifierat 22 miljoner gener hos Östersjöns virus, bakterier och plankton. Analyserna visade på en riklig förekomst av alla typer av mikroorganismer, men stora variationer från norr till söder. Mikroorganismer är viktiga för allt liv i Östersjön. En ökad kunskap om hur det mikrobiella samhället ser ut idag gör det möjligt att till exempel studera hur det påverkas av framtida klimatförändringar.[11]

1.1.7 Växters mikrobiom

Även växter har mikroorganismer på och i sig. Till exempel visade det sig att på ett enda blad på ett träd i Panama fanns mer än 400 arter. Dessutom hade varje trädart som studerades sin unika kombination av mikroorganismer.[12] I en annan rapport beskrevs de olika mikrobiomen på och i rötterna, på blad och grenar och i stammarna hos olika poppel-arter. På liknande sätt som många mikroorganismer på och i människokroppen har en positiv effekt på vår hälsa så har popplarna olika mikroorganismer som hjälper till att skydda mot sjukdomar och ta upp viktiga näringsämnen.[13]

I marken finns det mängder av mikroorganismer, till exempel svampar och bakterier. Sedan länge vet man att så kallade mykorrhiza-svampar lever i symbios med troligtvis mer än 80 procent av alla landväxter på jorden. Dessa svampar hjälper växten att ta upp näringsämnen ur marken. I gengäld får svampen kolhydrater.[14] Under året presenterades data som visar att mikroorganismerna i marken påverkar blomningstiden hos växten *Boechera stricta* (en korsblommig växt som finns i Nordamerika). Dessutom påverkade olika kombinationer av mikroorganismer blomningstiden olika mycket.[15]

1.1.8 Övertolkning av forskningsresultat

Ibland har både forskare och i synnerhet media dragit långtgående slutsatser utifrån de resultat som presenteras i mikrobiom-studier. Ett exempel är en studie på människa som visade att moderkakans mikrobiom var mest likt munnens mikrobiom.[16] Samma sak observerades i en studie på möss. Forskarna spekulerade att ett sätt på vilket nyfödda barn får sitt eget mikrobiom kan vara från moderns mun genom moderkakan till barnet.

I ett pressmeddelande och de efterföljande artiklarna i både den vetenskapliga och den populära pressen drogs mer långtgående slutsatser, som till exempel att mammans munhygien kan påverka barnet. Kritiker påpekar att den aktuella studien inte ens visar att moderkakans mikrobiom påverkar barnets mikrobiom utan bara att det liknar munhålans.[17]

I en rapport från det amerikanska sällskapet för mikrobiologi (*American Society for Microbiology*) uppmanas också till försiktighet när forskningsresultaten ska tolkas. Enligt sällskapet pekar många studier på ett samband mellan mikrobiomet och olika hälso- eller sjukdomstillstånd men bevisen för att ett särskilt mikrobiom orsakar en specifik sjukdom är begränsade. De skriver vidare att mikrobiomets sammansättning troligen är en viktig faktor vid vissa sjukdomar och att mer kunskap om detta kan komma att bidra till nya behandlingar och en anpassning av befintliga behandlingar. Rapportens författare påpekar dock att det är vilseledande att förklara komplexa sjukdomar som diabetes med enbart sammansättningen av mikrobiomet.[18]

1.1.9 Forskare varnar för förorenade prover

När mikrobiomet i en viss miljö studeras finns det en risk att proverna som undersöks förorenas med mikroorganismer från andra källor. I en studie undersöktes risken för föroreningar genom att en bakteriekultur som enbart innehöll bakterien *Salmonella bongori* späddes ut. Därefter undersöktes vilka bakterier som fanns i proverna. Resultaten visar att varje spädning ökade förekomsten av andra arter. När studien upprepades vid olika laboratorier identifierades olika typer av föroreningar. Detta beror troligtvis på att olika mikroorganismer förekommer på olika laboratorium och de människor som arbetar där.[19]

1.2 Modifierade bakterier signalerar närvaro av antibiotika

Forskare har modifierat *E. coli*-bakterier så att de kan signalera närvaro av specifika molekyler i tarmarna hos möss. I en första studie modifierades bakterierna med en gen som aktiveras när bakterierna kommer i kontakt med ett visst antibiotikum. Mössen gavs antibiotika och de modifierade bakterierna. När bakterierna i mössens avföring analyserades kunde forskarna se att genen aktiverats av antibiotikan som mössen fått.

Detta system skulle enligt forskarna kunna användas som ett diagnostiskt verktyg för att upptäcka olika ämnen som frisätts under en pågående inflammation i människans tarmar. Det skulle vara enklare än att genomföra till exempel en koloskopi, som innebär att tjocktarmen undersöks med hjälp av en böjlig slang.[20]

1.3 Syntetisk jästkromosom fungerar som den naturliga

Forskare har lyckats sätta ihop en konstgjord kromosom som motsvarar jästsvampens kromosom 3. Korta DNA-sekvenser syntetiserades och en kromosom pusslades samman. Den gjordes inte helt identisk med jästsvampens kromosom 3. Den syntetiska kromosomen innehåller till exempel inga så kallade transposoner, DNA-sekvenser som kan hoppa runt i arvsmassan. Transposonerna togs inte med för att kromosomen skulle bli stabilare, vilket är en fördel om den i ett senare skede ska användas för att producera olika ämnen.

För att testa om den syntetiska kromosomen fungerade sattes den in i jästsvampar som saknade kromosom 3. Jästsvamparna, med den nya kromosomen, fungerade på samma sätt som vanliga jästsvampar. Forskarna fortsätter att bygga fler konstgjorda kromosomer och har som mål att ta fram en jästsvamp där samtliga 16 kromosomer är syntetiska. Förutom att ge en större förståelse för jästsvampens biologi skulle syntetiska jästsvampar kunna användas för produktion av till exempel läkemedel, vaccin eller biobränsle.[21]

1.4 Akne-bakterie som lever i symbios med druva

Bakterien *Propionibacterium acne* är vanlig på människohuden och är delvis ansvarig för akne. Nu har forskare upptäckt en ny variant av bakterien som lever i symbios med druva. Det är första gången man identifierat en human patogen som blivit beroende av en värd från ett helt annat rike av organismer.

Forskarna studerade druvans arvsmassa när de upptäckte DNA som inte borde finnas där. De trodde först att det rörde sig om en förorening av proverna. Efter noggrannare analyser stod det dock klart att det rörde sig om en tidigare okänd variant av akne-bakterien som inte verkar kunna leva någon annanstans än i druvors celler. Forskarna föreslår att bakterien ska heta *P. acne zappae*, det sistnämnda efter artikelförfattarnas favoritmusiker, Frank Zappa.

Forskarna uppskattar att bakterierna tog sig in i druva för cirka 7 000 år sedan. Det var också då människan började domesticera druvan. Eftersom druvor beskärs ofta spekulerar artikelförfattarna att bakterien tagit sig från en tidig lantbrukare till snittytan under beskärningen och därefter vidare in i druvan.[22]

1.5 Genmodifierade bakterier omvandlar växtmaterial direkt till biobränsle

Varje växtcell omges av en cellvägg som bland annat består av cellulosa och lignin. För att biomassa ska kunna jäsas till etanol måste växtmaterialet förbehandlas kemiskt så att cellväggarna bryts ner. Det är en kostsam process och detta steg gör det dyrt att framställa biobränsle från exempelvis energigräs. Nu har forskare från USA lyckats komma förbi denna flaskhals.

Bakterien *Caldicellulosa bescii* kan bryta ner växtmaterial men saknar förmågan att omvandla det nedbrutna materialet till etanol. Det forskarna gjorde var att avlägsna en gen i bakterien och lägga till gener från en annan bakterieart. Dessa genetiska modifieringar gjorde att bakterien både kunde bryta ner cellväggarna och omvandla biomassa från energigräset präriehirs till etanol.[23]

1.6 DNA med nya byggstenar

Den genetiska koden är uppbyggd med samma fyra byggstenar i alla levande varelser. Dessa byggstenar kallas nukleotider. Man har tidigare lyckats syntetisera flera andra varianter av nukleotider i provrör. Nu har forskare lyckats få två syntetiska nukleotider att fungera i bakterier. Dessa bakterier använder alltså sex istället för fyra nukleotider.

De syntetiska nukleotiderna satte forskarna till i den näringslösning bakterierna lever i på laboratorium. Bakterierna tog upp de nya byggstenarna och använde dem på samma sätt som de naturliga. När forskarna slutade tillsätta de syntetiska nukleotiderna, ställde bakterierna snabbt om sig och började använda de naturliga igen.

Nästa steg blir att få de nya byggstenarna att fungera när DNA läses av och mRNA och därefter protein bildas. Det skulle enligt forskarna kunna innebära nya varianter av aminosyror och därmed helt nya proteiner som i framtiden kan komma att användas vid exempelvis läkemedelsframställning. Bakterierna med det utökade genetiska alfabetet röstades fram som årets genombrott av tidskriften *Science* läsare.[24]

1.7 Svampars mångfald över jorden

Ett stort antal forskare har samarbetat för att beskriva hur svampar som lever i jorden är spridda över alla kontinenter (utom Antarktis). Fyrtio jordprover per provplats samlades in från 365 platser, från södra Argentina till norra Norge, från Alaska i väster till Nya Zeeland i öster. Det levande materialet i jordproverna sekvensbestämdes och DNA-informationen användes i olika statistiska analyser.

En slutsats var att artrikedomen var högre ju närmare ekvatorn platsen låg. Det stämmer överens med hur det är för växter och djur, men även om artrikedomen generellt minskar ju närmare polerna man kommer så minskar den inte lika kraftigt för svampar som för till exempel växter. Man såg att vissa grupper av svampar, till exempel de som lever i symbios med skogsträd (ektomykorhizza), var mycket mer artrika närmare polerna.[25]

1.8 Flimmerdjuret som bryter ner sitt DNA i en kvarts miljon bitar och bygger upp det igen

Arvsmassan är en dynamisk struktur, och det encelliga flimmerdjuret *Oxytricha trifallax* har dragit det hela till sin spets. Det har en märklig förmåga att bryta ner sin arvsmassa i bortåt en kvarts miljon bitar och sedan snabbt bygga upp den igen i samband med att det utbyter genetiskt material med ett annat flimmerdjur.

Oxytricha har två cellkärnor där de förvarar sitt DNA. DNA:t i den mindre kärnan är inaktivt, medan DNA:t i den större kärnan är aktivt, det vill säga det produceras proteiner. Kärnorna kallas mikro- respektive makrokärna. Man kan säga att det är makrokärnans DNA som utför det dagliga arbetet medan mikrokärnan är ett arkiv av genetiskt material. I den aktiva makrokärnan finns hela 16 000 små kromosomer som kallas nano-kromosomer. De flesta av dem bär bara på en enda gen, men varje kromosom finns i bortåt 2 000 kopior.

Flimmerdjur utbyter genetiskt material med varandra i en process som kallas konjugation. DNA:t i mikrokärnan delar upp sig, hälften stannar kvar och hälften förs över till det andra flimmerdjuret. Resultatet blir en mikrokärna som till hälften består av flimmerdjurets eget DNA medan den andra hälften kommer från det flimmerdjur det konjugerat med. Den nya kärna delar sig och blir till en mikrokärna och en kärna som är ett förstadium till makrokärnan. Den gamla makrokärnan bryts ner.

Under den process när den nya makrokärnan bildas bryts DNA:t först ner till cirka en kvarts miljon bitar och flimmerdjuret gör sig av med över 90 procent av DNA:t. Det DNA som blir kvar omorganiseras till de 16 000 kromosomerna som sköter proteinproduktionen fram tills dess det är dags att åter byta genetiskt material med en annan individ.[26]

2 Evolution

2.1 Fåglars evolution

För 70 miljoner år sedan fanns tre utvecklingslinjer av fåglar: neoaves, galloanseres och palaeognathae. Dessa tre utvecklingslinjer hade för 60 miljoner år sedan gett upphov till ett 30-tal arter som utvecklades vidare till de arter vi ser idag.

I ett stort internationellt samarbete har forskare kartlagt arvsmassan hos 48 fågelarter. Resultaten pekar på en snabb utveckling för ungefär 67 miljoner år sedan, ungefär samtidigt som dinosaurierna dog ut. Med stor sannolikhet fanns det en mängd nya nischer i naturen där olika arter kunde utvecklas.

Det nya släktträdet som ritats upp med hjälp av den genetiska informationen innehåller flera överraskande fynd. Bland rovfåglar är örnar och gamar en egen grupp medan hökar och falkar är närmare släkt med tättingar (småfåglar). Ett likartat utseende betyder alltså inte nödvändigtvis att det finns ett nära släktskap.

Flera egenskaper verkar ha utvecklats parallellt i olika fågelgrupper. Förmågan att minnas och kunna härma olika ljud har till exempel utvecklats inom tre fågelgrupper: papegojor, sångfåglar och kolibri. Dessa fåglar kan minnas och härma andra arters läten. Den egenskapen är mycket ovanlig i naturen och är bland däggdjuren huvudsakligen begränsad till människan. Vi kan därför lära oss mer om minne och talförmåga hos människan genom att studera fåglar.

Forskningssamarbetet *Avian Phylogenomics Consortium* har hittills involverat fler än 200 forskare från 80 institutioner i 20 olika länder. Resultaten publicerades i 23 vetenskapliga artiklar, bland annat i ett specialnummer av den vetenskapliga tidskriften *Science*. *Science* utnämnde resultaten från studierna till ett av de tio viktigaste vetenskapliga genombrotten under 2014.[27]

2.2 Människans evolution

Kunskapen om den genetiska variationen och jämförelser av arvsmassor mellan olika individer eller befolkningsgrupper kan lära oss mer om människans evolution och hur vi har förflyttat oss under historiens gång. Forskare har till exempel kommit fram till att så kallade paleoeskimåer levde isolerade från andra befolkningsgrupper i ungefär 4 000 år innan de försvann för ungefär 700 år sedan[28] och att de människor som blev européer kom till Europa för minst 36 000 år sedan.[29]

Människan och schimpansen utvecklades från en gemensam förfader för ungefär fem till tio miljoner år sedan. Under många miljoner år utvecklades våra förfäder inte särskild mycket, de kunde tillverka några verktyg men betedde sig annars aplikt. För ungefär 200 000 år sedan uppstod det som arkeologerna kallar den anatomiskt moderna människan (*Homo sapiens*). Deras skelett var mycket lika dagens människors

och de levde i Afrika och Mellanöstern fram tills för cirka 60 000 år sedan. Då började den moderna människan sprida sig till Europa och Asien där neandertalare (*Homo neanderthalensis*) och Denisova-människor levde. Dessa människoarter brukar kallas arkaiska människor. Den utvecklingsgren som blev den moderna människan skiljdes från de arkaiska människorna för cirka 300 000-700 000 år sedan. Ett stort antal ben och boplatser efter neandertalare har påträffats. Denisova-människan är uppkallad efter det första och enda fyndet i Denisova-grottan i södra Sibirien. Medan den moderna människan fortsatte att utveckla ny teknologi, konst och så småningom språk, utvecklades de arkaiska människor inte på samma sätt. Forskare tror att det kan vara en av anledningarna till att den moderna människan så småningom tog över.[30]

2.2.1 Sekvensbestämning av 7 000 år gammal jägare-samlare

Ett spanskt forskarlag har analyserat DNA från en man som var jägare och samlare och levde i Spanien för ungefär 7 000 år sedan. Kvarlevorna upptäcktes 2006 i en grotta i norra Spanien och i en tandrot hittade forskarna tillräckligt mycket DNA för att kunna genomföra sina analyser. Analyserna visade att individen hade den ovanliga kombinationen blå ögon, mörk hud och mörkt hår. Individen, som kallas *La Braña 1*, levde i Spanien, men är inte nära släkt med dagens befolkning på den Iberiska halvön. Genetiskt sett är han mer lik skandinaver och människor i Sibirien.

Forskarna menar att blå ögon, som är vanligt i Skandinavien, sannolikt kommer från den grupp av jägare och samlare som *La Braña1* tillhörde. Jägar- och samlarfolken färdades långa sträckor. De spred sig norrut och levde troligtvis tillsammans med folk i Skandinavien under en längre tid. *La Brañas* arvsmassa visade också att han var laktosintolerant och hade svårt att bryta ner stärkelse. Det är inte oväntat eftersom stenåldersmänniskornas diet snarare bestod av kött, frön och nötter än mjölk och spannmål.[31]

2.2.2 Den hittills äldsta mänskliga arvsmassa har analyserats

Analys av arvsmassan från ett lårben som hittats i Sibirien visar att benet tillhörde en man (*Homo sapiens*) som levde för 45 000 år sedan. Den blir därmed den hittills äldsta sekvensbestämda arvsmassan från människa. Mannen från byn Ust-Ishim har lika mycket neandertal-DNA som dagens människor, ungefär två procent. Till skillnad mot dagens människor, där neandertal-DNA:t ligger utspritt i arvsmassan, sitter neandertal-DNA:t ihop i långa sekvenser hos den sibiriske mannen. Det kan betyda att han levde bara en kort tid efter det att utbytet av DNA mellan människa och neandertalare skedde. Forskarna föreslår att mannen levde 7 000 – 13 000 år efter det att neandertalare och moderna människor fick barn tillsammans vilket skulle innebära att det inträffade för 52 000 – 58 000 år sedan.

Mannens arvsmassa visade också släktskap med andra sekvensbestämda kvarlämningar av fornmänniskor till exempel de 24 000 år gamla lämningarna efter en pojke från Mal'ta i Sibirien och de cirka 7 000 år gamla lämningarna efter den spanske *La Braña*-mannen. Det kan betyda att mannen tillhörde den populationen som tog sig ut ur Afrika och spred sig över Europa och Asien.[32]

2.2.3 Komplett kartläggning av neandertalares arvsmassa

Ett internationellt forskarteam har sekvensbestämt arvsmassan hos en neandertalare från Sibirien med mycket hög kvalitet. Arvsmassan härstammar från en kvinnlig neandertalare vars föräldrar var nära släkt med varandra. Dessutom sekvensbestämde forskarna arvsmassan (med något lägre kvalitet) från en neandertalare från Kaukasien. Analys av dessa båda arvsmassor och jämförelser med arvsmassan från Denisova-människan och 25 nu levande människor avslöjade att neandertalare, Denisova-människor och moderna människor fått barn med varandra.[33]

2.2.4 Ny metod för att skilja DNA av olika ålder från varandra

Forskare har utvecklat en ny metod som gör det möjligt att filtrera bort DNA som är 1 000 år gammalt eller yngre från prover med DNA som är mycket äldre än så. DNA från mycket gamla ben kan identifieras genom en statistisk modell som beskriver nedbrytningen av DNA:t. Hur nedbrutet DNA:t är blir alltså en måttstock på hur gammalt det är.

För att testa om metoden fungerade på riktigt material bestämde forskarna DNA-sekvensen från ett neandertal-ben som hittats i Okladnikov-grottan i Sibirien. Benet var förorenat med DNA från andra människor, förmodligen från alla de människor som hanterat benet som till exempel arkeologer, forskare och museipersonal. Med hjälp av den nya metoden kunde forskarna skilja ut DNA:t från de människor som hanterat benet och få fram det kompletta mitokondrie-DNA:t från neandertal-benet. Analys av mitokondrie-DNA:t visade bland annat att den sibiriske neandertalaren var nära släkt med andra neandertalare i Europa.[34]

2.3 Växters evolution

2.3.1 Överföring av DNA mellan olika växtarter

Ingen variation - ingen evolution. I växter och andra organismer bidrar hoppande DNA-element, så kallade transposoner till genetisk variation. De hoppar runt i arvsmassan och hamnar de till exempel mitt i en gen kan de slå av den eller förändra hur mycket protein som produceras. Vissa egenskaper som modifierats av hoppande DNA-element har vi människor bevarat i de växter vi odlar. Blodapelsinen uppstod till exempel genom att en transposon placerade sig intill en gen som aktiverar produktionen av rött pigment. Genen finns i den gula apelsinen, men där är den inaktiv. De olika färgerna på prydnadsväxten *blomman för dagen* beror nästan uteslutande på transposoner, liksom den ovala formen på vissa tomatsorter.[35]

Horisontell överföring av genetiskt material innebär att DNA överförs mellan arter som inte kan korsa sig sexuellt med varandra. Det är vanligt bland bakterier, men när det gäller överföring av DNA mellan olika växtarter har man hittills bara kunnat bekräfta det i några få fall. Allt eftersom fler och fler växtgenom kartläggs får forskarna tillgång till den information de behöver för att studera fenomenet bland växter. Forskare har analyserat arvsmassan hos 40 olika växtarter och kommit fram till att överföring av genetiskt material mellan arter är betydligt vanligare än man tidigare trott. Det man studerat är överföring av en typ av transposoner som kallas LTR-retrotransposoner och som är mycket vanliga i växters arvsmassor.

I 26 av de 40 växtarter som analyserades hittade man transposoner från andra arter och det rörde sig inte bara om överföring av DNA mellan närbesläktade arter. Forskarna visade att genetiskt material i form av transposoner har överförts från till exempel tomat till böna och från poppel till persika.[36]

De flesta växter känner av och växer mot blått ljus, men när ljuset filtreras genom det bladverk ormbunkar lever under innehåller ljusspektrat mer rött. Ormbunkars förmåga att blomstra i svagt ljus har kopplats till utvecklingen av en ny gen. Genen kallas neokrom och har uppstått genom att två gener blivit till en. Ursprungligen producerade den ena genen ett protein som känner av blått ljus och den andra ett protein som känner av rött. Forskarna tror att neokrom-genen spelat en betydande roll när det gäller utvecklingen av ormbunkars mångfald. Var ormbunkarna fått sin neokrom-gen från har tidigare varit okänt, men nu har forskare funnit bevis för att ormbunkarna fått den från en nålfruktsmossa (*Anthoceros punctatus*) och att det har skett via horisontell överföring av DNA.[37]

2.3.2 Nya växtarter via naturlig ympning?

En polyploid organism har fler än två kopior av varje kromosom. Flera av våra odlade grödor och många vilda växter är polyploida. Är växten autopolyploid kommer alla kromosomer från en och samma art. Är den allopolyploid kommer kromosomerna ursprungligen från två eller flera olika arter.

Man tänker sig att allopolyploider i naturen har uppstått genom att två olika arter korsat sig med varandra och att arvsmassan därefter fördubblats. I många fall rör det sig om kromosomer från två närbesläktade arter, men det finns också exempel på allopolyploida arter som bär på kromosomer från mer eller mindre obesläktade arter. Eftersom det finns naturliga barriärer som gör att olika arter normalt inte korsar sig med varandra har forskare studerat om allopolyploider kan uppstå utan någon sexuell korsning.

De använde sig av vanlig tobak och en förvedad tobaksslä kting. Vanlig tobak ympades på tobaks-
släktingen på i princip samma sätt som man ympar äppelträd. När de två arterna växt ihop skar forskarna ut den bit av stammen där de båda arterna växt samman och odlade upp nya plantor från stambiten. Vanlig tobak har 48 kromosomer och den förvedade tobakssläktingen 24. De nya plantorna bar på 72 kromosomer. De innehöll alltså hela arvsmassan från de båda tobaksarterna. Den nya arten hade egen-
skaper någonstans mitt emellan de båda föräldrarna, men växte sig betydligt större än någon av dem. Den var också fullt fertil.

Olika arter kan växa samman i naturen och forskarna föreslår att nya arter skulle kunna uppstå via naturlig ympning. De menar också att ympning kan vara ett sätt att ta fram nya allopolyploida grödor.[38]

3 Djur

3.1 Insekter och parasiter

Flera allvarliga sjukdomar som exempelvis malaria och denguefeber sprids via insekter. Malaria orsakas av encelliga parasiter som tillhör släktet *Plasmodium* och sprids via *Anopheles*-myggor. När en hon-mygga biter en infekterad människa får den med sig både blod och parasiter. Parasiterna genomgår sedan en komplicerad utveckling i myggan och tar sig slutligen till myggans spottkörtlar och infekterar nästa person den biter. Denguefeber är en influensaliknande febersjukdom som orsakas av ett virus som sprids av *Aedes*-myggor. *Aedes*-myggor sprider också gula febern och chikungunyavirus.[39]

3.1.1 Genmodifierade myggor för att bekämpa denguefeber

För att bekämpa spridningen av denguefeber har det brittiska företaget *Oxitec Limited* tagit fram en stam av hanmyggor som modifierats så att dess avkomma dör på larv- eller puppastadiet. Denna typ av myggor har i försökssyfte tidigare släppts ut på ön Grand Cayman, i Malaysia och i Brasilien. I samtliga fall har populationerna av *Aedes*-myggor minskat med över 90 procent.[40]

Under 2014 röstade den brasilianska biosäkerhetskommissionen ja till en kommersialisering av myggorna. Nästa steg blir att det nationella hälsoövervakningsorganet i Brasilien tar beslut om själva myggorna. I Brasilien har dotterbolaget *Oxitec do Brasil* öppnat en enhet med kapacitet att producera två miljoner genmodifierade myggor per vecka.[41]

I januari 2014 godkände Panamas biosäkerhetskommitté att *Oxitecs* myggor släpps ut i landet. Under ledning av forskare vid *Gorgas Memorial Institute* har under året cirka 60 000 myggor släppts ut per vecka. Institutet är världsledande när det gäller kontroll av sjukdomsspridande myggor.[42]

3.1.2 Myggor använder mottagarprotein i antennerna för att hitta till människor

Myggan *Aedes aegypti* sprider bland annat virussjukdomen gula febern. Arten finns i två former, de myggor som föredrar människoblod och skogsmyggorna som hellre biter andra djur.

Nu har forskare hittat en gen vars protein gör att vissa *Aedes*-myggor föredrar människor. Genen producerar ett mottagarprotein för doftämnet sulcaton som vi människor utsöndrar. Proteinet finns i högre halter i antennerna hos de myggor som föredrar att livnära sig på människoblod jämfört med skogs-myggorna. Med hjälp av sina antenner känner myggorna av om det är en människa eller något annat djur. Man tror att utvecklingen som ledde till att vissa myggor föredrar människor skedde för några tusen år sedan och att det har gett myggorna vissa fördelar. Vi människor är till exempel hårlösa och lever i stora grupper. Det är troligt att andra dofter och andra gener bidrar till att förklara varför myggorna dras till människor något som forskarna bakom studien nu undersöker. Kunskapen om hur vissa myggor specialiserat sig på människor kan vara till hjälp för att förhindra sjukdomsspridning.[43]

3.1.3 Genmodifierad malariaparasit som tänkbart vaccin

Världshälsoorganisationen uppskattar antalet fall av malaria under 2013 till mellan 124 och 283 miljoner och antalet dödsfall på grund av malaria till mellan 367 000 och 750 000. Det finns ännu inte något vaccin mot malaria.

Nu har forskare rapporterat om resultat som skulle kunna leda fram till ett malariavaccin. Det forskarna gjort är att med genteknik avlägsna tre av parasitens gener. Utan dessa gener blir parasiten försvagad och kan inte föröka sig. Däremot kan den stimulera immunsystemet och bygga upp ett försvar mot parasiten. Levande modifierade parasiter kan alltså fungera som ett vaccin mot malaria.

När parasiten via myggan tagit sig in i människokroppen infekterar den först levercellerna och därefter de röda blodkropparna. Av den anledning transplanterades de möss som vaccinet testades på med leverceller och röda blodkroppar från människa. Försöksdjuren vaccinerades med de modifierade parasiterna vilket gav dem ett fullständigt skydd mot malaria.[44]

3.1.4 Ny teknik gör det enklare att studera malariaparasiten

För att förstå vad en viss gen har för funktion inaktiveras just den genen. Sedan kan forskarna studera hur det påverkar organismen och reda ut vad genen har för funktion.

Malariaparasitens arvsmassa är sekvensbestämd,[45] men man vet bara vad ungefär hälften av generna har för funktion. Det har hittills varit väldigt svårt att studera parasiten genetiskt eftersom det varit svårt att inaktivera enstaka gener. Om man inte förstår hur parasiten fungerar är det svårt att utveckla nya läkemedel eller vaccin.

Nu har forskare, med mycket goda resultat, använt sig av CRISPR/Cas9-tekniken för att stänga av gener i malariaparasitens arvsmassa. Med CRISPR/Cas9-tekniken kan man bland annat skapa enstaka mutationer på en förutbestämd plats i arvsmassan. Man kan därför relativt enkelt skapa mutationer som gör att det inte produceras något protein från en viss gen. Genen har stängts av.

Tekniken gör att forskarna med stor precision kan modifiera olika gener i parasitens arvsmassa. På så sätt kan vi lära oss mer om hur parasiten fungerar, vilket i sin tur kan leda till att nya läkemedel eller vaccin mot malaria utvecklas.

Den här typen av tekniker har diskuterats inom EU sedan 2007. Frågan är om tekniken resulterar i en genetiskt modifierad organism som ska regleras eller inte (6 Lagstiftningsfrågor, sidorna 41-44).[46]

3.1.5 Arvsmassan hos 16 arter av myggor sekvensbestämd

Ett internationellt forskarlag har sekvensbestämt arvsmassan hos 16 arter av *Anopheles*-myggor. Av de 450 *Anopheles*-arter man känner till är det cirka 60 arter som bär på den parasit som orsakar malaria. En handfull av dessa arter står för det mesta av överföringen av parasiten till människa. När DNA-sekvenserna nu är kända kan forskarna börja analysera arvsmassorna i detalj. Ingående kunskaper om de genetiska skillnaderna och likheterna mellan de olika myggarterna ger värdefull kunskap som kan vara till hjälp för att hitta nya strategier att bekämpa malaria i olika områden.[47]

3.2 Odlat kött och mjölk utan djur

Essän *Fifty Years Hence* publicerades i *Strand Magazine* 1931. I den skriver Winston Churchill: "*We shall escape the absurdity of growing a whole chicken in order to eat the breast or wing, by growing these parts separately under a suitable medium*." Drygt 90 år senare tillagades den första hamburgaren som tillverkats genom att muskelceller från kor odlats. De nederländska forskare som odlade fram hamburgaren har startat företaget *Cultured Beef*, där de arbetar med att vidareutveckla tekniken. Det finns också ett USA-baserat företag, *Modern Meadow*. De arbetar både med odlat kött för matproduktion och odlat läder.

I en vetenskaplig artikel publicerad under året diskuteras odlat kött. Vinsterna med odlat kött skulle, enligt författarna, vara mindre mängd växthusgaser och en minskad land- och vattenanvändning. Däremot skulle energivinsterna inte bli särskilt stora. De frågar sig vidare om människor över huvud taget kommer att vilja äta odlat kött. Kommer odlat kött att vara avskräckande och anses som ”onaturligt” eller för ”teknologiskt”? Kommer det att fjärma oss än mer från den mat vi äter? Dessa invändningar skulle enligt artikelförfattarna kunna bemötas genom småskalig produktion på mindre orter och i nära kontakt med de djur som donerar sina celler. Deras slutsats är att odlat kött är lovande ur ett etiskt perspektiv, men att produktionskostnaderna är en stor utmaning. Kostnaden för den första hamburgaren av odlat kött var bortåt 2,5 miljoner kronor.

Andra forskare arbetar med att producera mjölk utan djur och har nyligen startat företaget *Muufri*. Enligt forskarna är sex proteiner och åtta fettsyror allt som behövs. Genom att ändra förhållandena mellan de olika proteinerna och fettsyrorna kan man få fram komjölk, getmjölk eller buffelmjölk. De proteiner de använder produceras av genmodifierade jästsvampar. Mjölken kan också göras laktosfri och utan det dåliga kolesterolet. Den behöver heller inte pastöriseras. Forskarna bakom *Muufri* är själva veganer och menar att mjölkproduktion utan djur är bra både för miljön och för djurskyddet.[48]

3.3 Hundar – vita tecken och hörselnedsättning

Hunden (*Canis familiaris*) domesticerades för åtminstone 15 000 år sedan, kanske för så länge sedan som 30 000 år sedan. Det vill säga, det har gått 7 000 – 15 000 generationer sedan hunden skildes från vargen (*Canis lupus*). Över tid har vi människor valt ut hundar med egenskaper som överensstämmer med våra önskemål. För cirka 200 år sedan startade ett mer strikt avelsarbete och tydliga kriterier sattes upp för hur en viss hundras skulle se ut. De här två tillfällena, domesticeringen och bildandet av tydliga hundraser, har påverkat de egenskaper och gener som vi ser i dagens hundraser. En del av dessa egenskaper är inte önskvärda som till exempel olika typer neurologiska sjukdomar och hjärtsjukdomar. Däremot kan forskare använda kunskapen de får om egenskaper hos hund som är relaterade till sjukdom för att bättre förstå hur motsvarande egenskaper hos människa styrs genetiskt.[49] I slutet av 2013 publicerades en studie som kopplade ihop sju områden i arvsmassan med en speciell typ av hörselnedsättning hos dalmatiner.[50]

Under 2014 publicerades en studie där forskarna tittade närmare på en gen för att bättre förstå dess koppling till vit teckning hos hundar. Gen-produkten har visat sig påverka utvecklingen och funktionen hos melanocyter (celler som innehåller pigment) i huden, ögat och innerörat. Forskarna hittade en mutation i genens promotor (området före genen som till exempel styr om genen ska vara av- eller påslagen). Mutationen gör att pigmentcellerna inte hittar fram till huden, det vill säga huden får vita tecken. Pigmentcellerna hittar heller inte fram till sin plats i innerörat, vilket i vissa fall orsakar hörselnedsättning eller dövhet.[51]

4 Människan och medicinen

4.1 Ebolaviruset

Sedan i mars 2014 pågår ett utbrott av ebolavirus i Västafrika. Det första fallet rapporterades i Guinea. Tillsammans med Liberia och Sierra Leone är Guinea det land som drabbats hårdast och Världshälsoorganisationen (WHO) har klassat utbrottet som ett internationellt hot mot människors hälsa. Utanför dessa tre länder har enstaka fall av smitta identifierats i bland annat USA, Spanien, Nigeria och Mali.

I slutet av året rapporterade WHO 20 206 fall varav 7 905 lett till döden. Dessutom befaras det finnas många sjukdoms- och dödsfall som inte rapporterats. I slutet av december bedömdes situationen i Liberia som stabil, antalet rapporterade fall har successivt minskat sedan mitten av november. I Guinea har antalet fall varierat sedan september och det är svårt att se någon tydlig uppåt- eller nedåtgående trend. I Sierra Leone fortsätter antalet att öka, men spridningstakten verkar ha avtagit något.[52]

Ebolaviruset tillhör gruppen filovirus. Virusets beståndsdelar är arvsmassan som består av RNA och ett tunt hölje. Det är lätt att avdöda viruset med klorin eller alkohol. Viruset är inte heller luftburet utan smittar enbart via direktkontakt. Dödligheten vid infektion är dock mycket hög.

4.1.1 Virusutbrottets källa

Flygande hundar är en typ av fladdermöss. De bär på ebolaviruset, men blir inte sjuka. Viruset kan överföras till apor eller människor när de äter av samma frukter som fladdermössen eller kommer i direkt kontakt med dem. Kontakt mellan apor och människor kan också bidra till smittspridningen. Både apor och människor blir sjuka av viruset och dör om de inte får vård.

Enligt en forskningsstudie som publicerades i slutet av året kan det nuvarande utbrottet av ebola ha uppstått när en pojke, som tidigare identifierats som ”patient noll”, lekte i ett ihåligt träd. DNA-analyser av jorden vid det ihåliga trädet visade att flygande hundar hade vistats där. Via intervjuer med lokalbefolkningen fick forskarna reda på att kontakt med flygande hundar är vanligt.[53]

4.1.2 Sekvensbestämning ger information om ebolaviruset

I samarbete med hälsomyndigheten i Sierra Leone har forskare i USA analyserat 99 ebola-genom från 78 patienter. Proverna samlades in inom de första 24 dagarna efter utbrottet. Forskarna identifierade över 300 mutationer som tydligt skiljer de ebolavirus som ligger bakom det aktuella utbrottet från ebolavirus vid tidigare utbrott.

De flesta mutationer har skett i de delar av virusets arvsmassa som översätts till proteiner. Vissa av dessa mutationer påverkar utfallet av existerande tester eftersom den del av virusets arvsmassa som känns igen i testerna är förändrad. Förhoppningen är att den nya informationen på kort sikt ska kunna användas för att anpassa de diagnostiska metoderna och på längre sikt för att utveckla vaccin eller läkemedel.

Analyserna kunde avslöja att den storskaliga spridningen av sjukdomen troligen startade med överföring av ebolaviruset vid en begravning av en healer som hade försökt bota några smittade människor. Analyserna av virusets arvsmassa genomfördes enligt ett strängt säkerhetsprotokoll. Den vetenskapliga publikationen och informationen om virusets arvsmassa är fritt tillgänglig för forskare över hela världen.[54]

4.1.3 Tillverkning av läkemedel mot ebolaviruset i tobaksplantor

ZMapp är ett läkemedel under utveckling och består av antikroppar mot ebolaviruset. Det har bland annat testats på apor (makaker). Aporna infekterades med viruset och behandlades sedan med läkemedlet vid olika tidpunkter efter infektion. Samtliga apor överlevde och inget virus kunde upptäckas efter 21 dagar.

Läkemedlet har producerats med hjälp av en tobaksslägt (*Nicotiana benthamiana*) och *Agrobacterium tumefaciens*, en bakterie som ofta används vid genmodifiering av växter. Vid framställningen av *ZMapp* har *Agrobacterium* modifierats med gener för de antikroppar man vill producera. En lösning med bakterierna förs in i tobaksblad med hjälp av vacuum. I bladen produceras sedan snabbt stora mängder av antikropparna. Tekniken kallas agroinfektion (6 Lagstiftningsfrågor, sidorna 41-44).

USA:s livsmedels-och läkemedelsmyndighet (FDA) kan under vissa förhållanden tillåta att icke-godkända läkemedel används. På grund av det pågående ebolautbrottet har några infekterade människor behandlats med läkemedlet, bland annat en läkare och en sjuksköterska från USA som arbetat med ebola-patienter i Västafrika. De har båda återhämtat sig, men om det beror på läkemedlet eller om de ändå skulle ha tillfrisknat är oklart.[55]

4.1.4 Kliniska prövningar av läkemedel, vaccin och plasma

Läkemedlet faviparivir utvecklades ursprungligen mot influensa och har redan genomgått kliniska prövningar för detta användningsområde. Läkemedlet angriper virusets arvsmassa. I studier på möss har faviparivir gett goda resultat mot ebola. Nu ska effekten och säkerheten studeras i människor.

Det franska forskningsinstitutet *INSERM* leder sedan 17 december 2014 kliniska prövningar på ett behandlingscenter i Guéckédou i östra Guinea. Så många ebola-patienter som möjligt kommer att inkluderas i de kliniska prövningarna, men möjligheten att avstå finns. Någon kontrollgrupp inkluderas inte i studien eftersom det i det rådande läget bedöms som oetiskt att inte erbjuda en möjlig behandling. Istället ska resultaten från studien jämföras med information om de patienter som tidigare behandlats på samma center. Om faviparivir visar sig vara säkert och effektivt kommer det att göras tillgängligt för ebola-patienter på andra behandlingscenter när försöket går in i nästa fas. Det betyder att fler patienter i Västafrika kommer att kunna få behandlingen när nationella myndigheter och oberoende etiska kommittéer har gett sitt godkännande.[56]

Den amerikanska myndigheten *National Institutes of Health* meddelade i slutet av augusti 2014 att en klinisk prövning av ett vaccin mot ebolaviruset kommer att påbörjas. Vaccinet har utvecklats av läkemedelsföretaget *GlaxoSmithKline* i samarbete med *National Institute of Allergy and Infectious Disease*. Vaccinet består av ett så kallat adenovirus som används för att leverera genetiskt material från två olika

typer av ebolavirus till mänskliga celler. Det protein som det genetiska materialet från ebolaviruset producerar gör att människans immunsystem börjar tillverka antikroppar mot ebola.

I den första kliniska studien vaccinerades 20 friska personer mellan 18 och 50 år. Deltagarna i studien övervakades noggrant genom nio kontroller inom 48 timmar och ytterligare kontroller de följande veckorna och månaderna. I slutet av 2014 publicerades en studie som rapporterade att alla deltagare som ingick i studien producerade antikroppar mot ebolaviruset. De individer som fått den högsta vaccindosen producerade flest antikroppar. Vaccinet utlöste också produktion av de vita blodkroppar i immunsystemet som spelar en viktig roll för att bekämpa virus.[57]

Ebola är vanligt bland apor och hotar apbestånden i naturen. Forskare i Storbritannien har därför utvecklat ett särskilt vaccin för schimpanser. Vaccinet innehåller virus-liknande partiklar som utlöser ett immunförsvar och skyddar aporna när de kommer i kontakt med viruset. Kliniska försök på schimpanser som lever i fångenskap ser lovande ut, vaccinet verkar vara säker och utlöser ett immunförsvar mot ebola.[58]

Plasma från tillfrisknade patienter innehåller antikroppar mot ebolaviruset, och kan potentiellt ges i skyddande syfte. Kliniska försök pågår eller ska startas i Liberia, Guinea och Sierra Leone.[59]

4.2 Sjukdomsgenetik

Genom att sekvensbestämma arvsmassan och kartlägga de mutationer som bidrar till olika sjukdomar kan vi få ökad kunskap om hur sjukdomar uppstår och utvecklas. Det kan i sin tur leda till att bättre verktyg för att tidigt upptäcka och behandla sjukdomar utvecklas. De vetenskapliga fynden från dessa studier kan ha betydelse för läkemedelsutveckling och för individanpassad behandling.

4.2.1 Nationell satsning på genomsekvensering

I november 2014 beslutade svenska *Science for Life Laboratories* (*SciLifeLab*) vilka forskningsprojekt som blir en del av den nationella satsningen på sekvensbestämning av hela arvsmassor. Flera av projekten fokuserar på mänskliga sjukdomar som leukemi och Alzheimers sjukdom. Andra projekt kommer att studera den biologiska mångfalden inom olika organismer som till exempel havstulpan och kanin.[60]

4.2.2 Länk mellan rökning, förlust av Y-kromosomen och cancer

Forskare har visat på ett samband mellan rökning och förlust av Y-kromosomen i blodceller. Sedan tidigare vet man att förlust av Y-kromosomen är kopplad till cancer. Eftersom det bara är män som har Y-kromosomer kan fynden förklara varför manliga rökare löper större risk att drabbas av cancer än kvinnor som röker.

Sambandet mellan rökning och förlust av Y-kromosomen är dos-beroende, det vill säga förlust av Y-kromosomen är vanligare hos storrökare än hos måttliga rökare. Dessutom gäller sambandet bara för personer som fortfarande röker vilket tyder på att förlusten av Y-kromosomen på grund av rökning kan vara en reversibel process. På vilket sätt förlust av Y-kromosomen kan kopplas till uppkomsten av cancer är ännu inte klarlagt.[61]

4.2.3 Världens äldsta tumör har sekvensbestämts

Det finns två kända tumörsjukdomar som är smittsamma. Den ena är en dödlig ansiktstumör som drabbar pungdjuret tasmansk djävul och den andra är vanligtvis godartad och drabbar hunddjurs könsorgan. Den sistnämnda sprids främst vid parning då tumörceller kommer i kontakt med könsorganens slemhinnor.

Det har tidigare varit oklart när den smittsamma tumören uppstod och om det var i en hund eller en varg. Nu har forskare sekvensbestämt tumörer från två hundar, en *Aboriginal Camp Dog* från Australien och en amerikansk cockerspaniel från Brasilien. De analyserade också hundarnas egna arvsmassor. Den smittsamma tumören består av celler från det djur som först drabbades. Forskarna kunde därför utifrån de nu sekvensbestämda arvsmassorna rekonstruera hur det första djuret som drabbades kan ha sett ut.

Resultaten tyder på att tumören uppstod för cirka 11 000 år sedan i en hund som liknade polarhundarna *Alaskan Malamute* och *Siberian husky*. Det är okänt om det var en hane eller hona, men hunden var sannolikt inavlad.

Troligen existerade tumören i en relativt isolerad population till för ungefär 500 år sedan. När hundar började följa med på människans globala expeditioner kunde tumören sprida sig geografiskt. I Sverige har sjukdomen diagnosticerats hos ett fåtal hundar med ursprung i Indien och Rumänien. Forskarna menar att det är anmärkningsvärt att tumören existerat i årtusenden som en slags parasitisk livsform. Detta trots att den genom åren samlat på sig närmare två miljoner mutationer.[62]

4.2.4 Förändring av ett mottagarprotein leder till en aggressivare form av neuroblastom

Ett internationellt team av forskare har identifierat mutationer i ett mottagarprotein som gör hjärntumören neuroblastom mer aggressiv och ökar benägenheten för återfall. Forskarna analyserade prover från 54 patienter för att komma fram till detta. Resultaten kan ha betydelse för behandling då valet av läkemedel kan anpassas.[63]

4.2.5 Genetik och schizofreni

I en storskalig studie har forskare analyserat arvsmassan hos 150 000 personer varav nästan 37 000 hade diagnosticerats med sjukdomen schizofreni. Forskarna identifierade 108 mutationer som fanns i arvsmassan hos de personer som hade sjukdomen, men saknades hos de friska. Av de108 mutationerna var 83 tidigare okända. Man hittade till exempel mutationer i genen för dopaminets mottagarprotein och i gener som kodar för proteiner som är viktiga för immunsystemet. De flesta mutationerna var gemensamma för alla personer med schizofreni.

Den stora datamängden som genererades gjorde det möjligt att utveckla en matematisk modell som kan användas för att förutse risken att utveckla schizofreni. Enligt forskarna skulle en matematisk modell som baseras på den genetiska profilen kunna användas antingen för att förutse om en person kan utveckla sjukdomen eller för att utvärdera osäkra diagnoser.[64]

Konsortiet *Molecular Genetics of Schizophrenia* har kommit fram till att schizofreni inte är en sjukdom utan snarare en grupp av ärftliga sjukdomar med flera olika symptom. Enligt forskarna är det viktigaste fyndet att generna samspelar i nätverk och att det inte är enstaka genetiska mutationer som ligger bakom sjukdomsbilden.[65]

4.3 Genterapi med hjälp av CRISPR/Cas9-tekniken

I början av 2013 publicerades en vetenskaplig artikel som beskrev en ny teknik för riktade förändringar i arvsmassan. Tekniken kallas för CRISPR/Cas9 och fick på kort tid ett stort genomslag i forskarvärlden. Den utvecklingen har fortsatt under 2014.

Tekniken bygger på samma princip som många bakterier använder sig av för att skydda sig mot virusangrepp. De använder sig av målsökande RNA-sekvenser som binder till virusets arvsmassa. Med hjälp av Cas9-nukleas klipps därefter virusets arvsmassa itu intill den plats där RNA-sekvensen bundit. Bakterien har därmed oskadliggjort viruset.

Bakteriernas system används i något modifierad form inom forskning och utveckling för att på olika sätt förändra arvsmassan i en rad olika organismer. RNA-sekvensen, som kallas för guide-RNA, kan designas så att den binder till en förutbestämd plats i arvsmassan i en bestämd organism. Där RNA-molekylen bundit skapar Cas9-nukleaset ett brott i DNA-spiralen.

Med hjälp av CRISPR/Cas9 är det möjligt att modifiera, byta ut, ta bort eller inaktivera gener. En av förhoppningarna är att CRISPR/Cas9-tekniken ska kunna användas för genterapi, det vill säga för att korrigera mutationer som orsakar sjukdom. Än så länge har genterapi med hjälp av CRISPR/Cas9-tekniken inte tillämpats på människor. Försöken är gjorda på möss och i cellkulturer för att utvärdera hur effektiv och säker tekniken är (6 Lagstiftningsfrågor, sidorna 41-44).

4.3.1 Redigering av blodstamceller kan vara en ny strategi mot HIV

Viruset HIV infekterar normalt T-celler via ett mottagarprotein på cellernas yta. T-celler är en typ av vita blodkroppar. Om mottagarproteinet inaktiveras kan viruset inte infektera cellerna. Istället kan blodkropparna utlösa ett immunförsvar och eliminera viruset. Forskare har med hjälp av CRISPR/Cas9-tekniken inaktiverat genen för mottagarproteinet i mänskliga blodstamceller. De modifierade blodstamceller kunde sedan utvecklas till olika typer av blodceller, bland annat T-celler som saknade mottagarproteinet för viruset. Genetiska analyser visade att inga oönskade genetiska förändringar hade skett.

I nästa steg planerar forskarna att använda möss med ett immunsystem som liknar människans. Mössen infekteras med HIV och får därefter, genom en benmärgstransplantation, mänskliga blodstamceller som saknar genen för mottagarproteinet. Om tekniken visar sig vara effektiv och säker skulle den, efter kliniska prövningar, kunna bli aktuell för behandling av HIV-patienter.[66]

4.3.2 Genterapi mot leversjukdom i möss

Forskare har använt CRISPR/Cas9-tekniken för att korrigera den mutation som leder till den sällsynta leversjukdomen tyrosinemi. Sjukdomen beror på en mutation i genen som kodar för ett enzym som är nödvändigt för att aminosyran tyrosin ska brytas ner.

Forskarna använde sig av genetisk modifierade möss som bär på samma mutation som människor med sjukdomen. CRISPR/Cas9 injicerades i mössen tillsammans med den korrekta genen för enzymet. Den korrekta genen sattes in i ungefär en per 250 leverceller. Inom en månad började dessa celler dela sig och ersatt celler som bar på mutationen. Så småningom bestod levern till en tredjedel av ”friska” celler, vilket var tillräckligt för att mössen kunde klara sig utan läkemedel.[67]

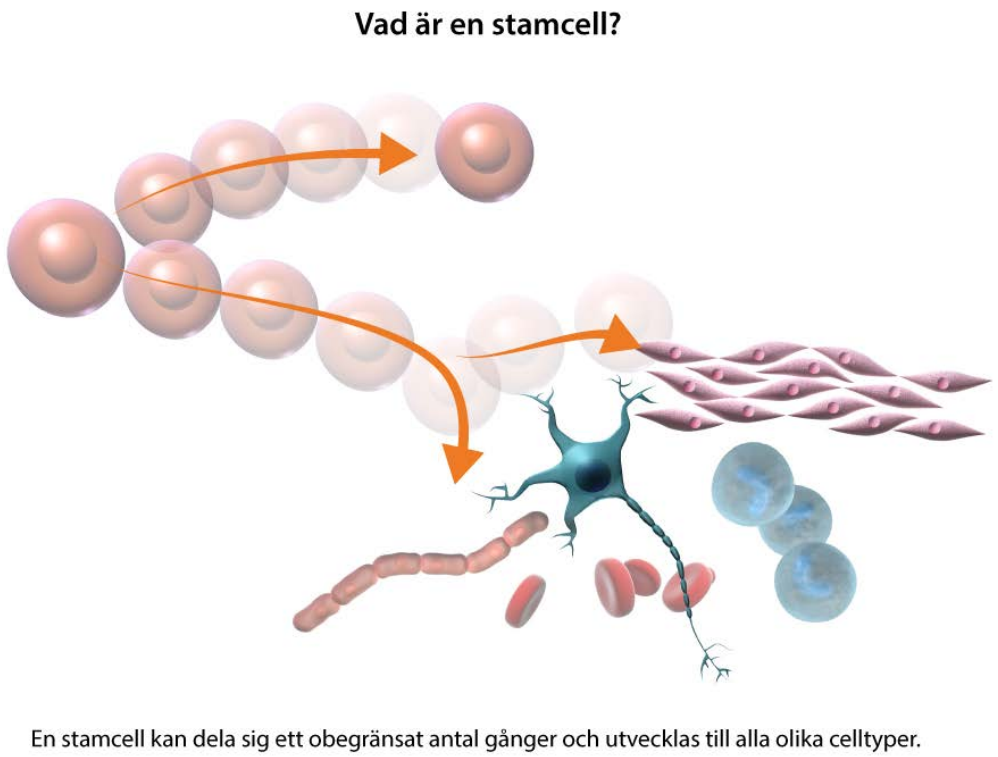
4.3.3 Riktade mutationer i apors gener

Apor är viktiga djur vid sjukdomsstudier eftersom de är nära släkt med människan. Det har dock varit svårt att i apor skapa mutationer som motsvarar mutationer kopplade till mänskliga sjukdomar.

Nu har kinesiska forskare använt CRISPR/Cas9-tekniken för att mutera tre specifika gener embryon från krabb-makaker. Analys av arvsmassan hos 15 embryon visade att åtta av dem hade en mutation i två av målgenerna. Dessa embryon sattes sedan in i surrogatmödrar, varav en födde tvillingar. Analys av tvillingarnas arvsmassor visade att de bar på samma mutationer som embryona.[68]

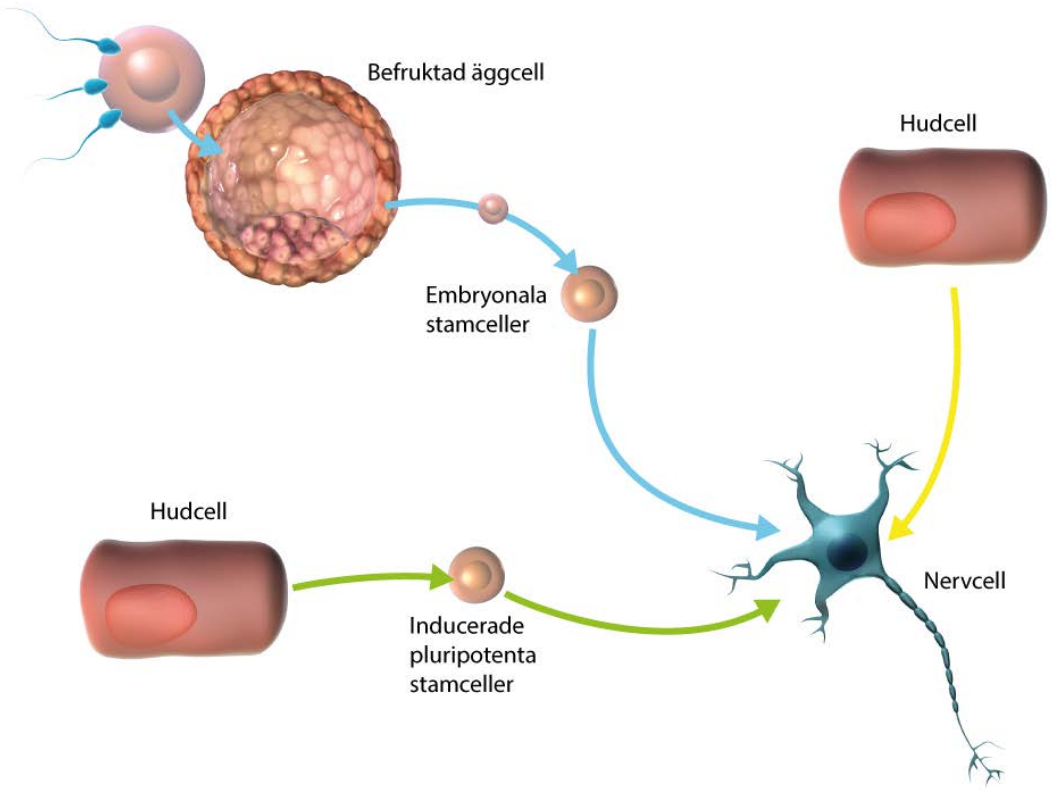
4.4 Stamceller och regenerativ medicin

Stamceller är ursprunget till alla celler i kroppen (figur 1). Genom delning ger stamceller upphov till nya stamceller. De kan utvecklas till alla de olika typer av celler som finns i kroppen, till exempel hudceller, blodceller eller nervceller.



Figur 1. Nervceller kan utvecklas via embryonala eller via inducerade pluripotenta stamceller. De kan också utvecklas direkt från hudceller. Copyright: Gunilla Elam.

Inom forskningen använder man sig av två typer av stamceller, embryonala stamceller och inducerade pluripotenta stamceller. Embryonala stamceller tas från överblivna befruktade ägg efter provrörsbefruktningar. Inducerade pluripotenta stamceller tas fram genom omprogrammering av redan utvecklade och specialiserade celler. Det är också möjligt att omprogrammera en typ av specialiserade till en annan, utan att gå via stamceller. Hudceller kan till exempel utvecklas direkt från nervceller (figur 2).



Figur 2. Stamceller är ursprunget till alla celler i kroppen. Genom delning ger stamceller upphov till nya stamceller. De kan utvecklas till alla de olika typer av celler som finns i kroppen, till exempel hudceller, blodceller eller nervceller. Copyright: Gunilla Elam.

Ett användningsområde för stamceller är inom den regenerativa medicinen. Regenerativ medicin syftar till att ersätta eller reparera skadade vävnader eller organ. Det kan till exempel handla om att ersätta en bit av huden efter en brännskada eller att behandla ögonsjukdomar med hjälp av en odlade näthinnor. Regenerativ medicin är ännu i sin linda, men studeras i djurförsök och kliniska försök.

Det är också möjligt att framställa mini-organ, så kallade organoider. Dessa kan utnyttjas för att studera organutveckling, en sjukdom i ett specifikt organ eller för att testa läkemedel.

4.4.1 Stamceller blir insulinproducerande betaceller

Insulin behövs för att bryta ner socker och produceras av så kallade betaceller i bukspottkörteln. Vid diabetes typ 1 angriper och förstör kroppens immunsystem dessa celler. Forskare har på olika sätt försökt att ersätta betacellerna och två forskargrupper har nu kommit på nya sätt. Den ena forskargruppen utgick från embryonala stamceller och den andra inducerade pluripotenta stamceller. I båda fallen producerades betaceller i sådan mängd att det i princip skulle räcka för en transplantation. Det behövs dock strategier för att skydda dessa celler mot samma öde som de naturliga betacellerna, det vill säga angrepp från det egna immunsystemet.

Det odlade betacellerna ger också forskarna möjlighet att studera både cellerna och sjukdomen i mer detalj. Omprogrammering av stamceller till insulinproducerande betaceller utnämndes av den vetenskapliga tidskriften *Science* till ett av de tio vetenskapliga genombrotten under 2014.[69]

4.4.2 Studier av Alzheimers sjukdom i odlade nervceller

Alzheimers sjukdom uppträder i två former. Båda formerna kännetecknas av minnesförlust och inlärningssvårigheter, men de uppträder vid olika tidpunkter i livet. Tidig eller familjär Alzheimers sjukdom har kopplats till ärftliga mutationer. De första sjukdomssymptomen kan uppträda redan vid 30-års ålder. I den sena eller sporadiska formen av Alzheimers sjukdom uppträder de första symptomen vid 70-års ålder och än så länge har inga specifika mutationer kopplats till denna variant.

Vid Alzheimers sjukdom bildas plack, små klumpar av beta-amyloid som bildas vid nervtrådarna. Det har hittills varit svårt att i detalj undersöka vad som händer i patienternas nervceller eftersom det är omöjligt att ta prover från den del av hjärnan där de karakteristiska placken uppstår.

Forskare har nu lyckats omvandla hudceller till inducerade pluripotenta stamceller som sedan fick utvecklas till nervceller. De använde sig av hudceller från en 57-årig manlig patient som hade diagnosticerats med familjär Alzheimers och hans 33-åriga dotter som hade visat de första symptomen på sjukdomen.

Med hjälp av de odlade nervcellerna kunde forskarna bekräfta tidigare observationer från studier på möss, att mutationer i den genen som kodar för proteinet beta-amyloid leder till plack. Ett annat kännetecken för Alzheimers sjukdom är att proteinet tau, som behövs för transport av vätska och olika ämnen i cellen, trasslar ihop sig. Även detta kunde observeras i de odlade nervcellerna.

Enligt forskarna är detta sätt att studera Alzheimers sjukdom (och potentiellt andra sjukdomar som angriper nervsystemet) värdefullt både för att lära sig mer om mekanismerna bakom sjukdomen och för att kunna utveckla och testa nya läkemedel.[70]

4.4.3 Korrigering av sjukdomsgen i humana blodstamceller

Svår kombinerad immunbrist (förkortas SCID) är en grupp mycket allvarliga, ärftliga sjukdomar som kännetecknas av att immunförsvaret fungerar mycket dåligt eller inte alls. Inom gruppen varierar den genetiska orsaken till sjukdomen, men oberoende av vilken mutation som patienten bär på så yttrar sig sjukdomen på ett liknande sätt.

En forskargrupp har nu lyckats korrigera en av dessa mutationer i humana blodstamceller. Den metod forskarna använde kallas zinkfinger-nukleas-tekniken (ZFN), med vilken man kan skapa riktade förändringar i arvsmassan.

Enligt forskarna är detta resultat ett viktigt steg mot att kunna använda genterapi vid allvarliga genetiska sjukdomar. Potentiellt skulle patientens egna stamceller kunna användas. Innan metoden kan tillämpas måste fler studier genomföras, framförallt måste metoden vara säker och inte leda till allvarliga biverkningar (6 Lagstiftningsfrågor, sidorna 41-44).[71]

4.4.4 Nya nervceller kan bildas i ryggmärgen

Under 2013 visade forskare att det går att omvandla omogna nervceller till dopamin-producerande nervceller direkt i hjärnan i möss. Nu har ett annat forskarteam gjort liknande försök i ryggmärgen på möss. Ryggmärgen kännetecknas av förekomsten av astrocyter. Dessa celler bildar ärrvävnad vid ryggmärgsskada. Ärren skyddar de överlevande nervcellerna, men hindrar samtidigt återväxten.

I försök i cellkulturer och i möss med ryggmärgsskada omprogrammerade forskarna astrocyterna så att de utvecklades till mogna nervceller. Tekniken är än så länge inte så effektiv och det är oklart om bildandet av nya nervceller leder till att mössen tillfrisknar. Forskarna arbetar vidare med att öka effektiviteten och undersöka hur de omprogrammerade cellerna fungerar.[72]

4.4.5 Forskare transplanterar odlad matstrupe i råtta

Forskare har skapat biologiskt funktionella matstrupar genom att använda matstrupar från råttor där cellerna avlägsnats och endast stödstrukturen finns kvar. På denna struktur odlades stamceller från benmärgen. Inom tre veckor utvecklades stamcellerna till organspecifika celler. De odlade matstruparna transplanterades in i råttor där de ersatte en del av djurens egna matstrupar. Samtliga djur överlevde och efter två veckor kunde forskarna hitta tydliga tecken på att viktiga komponenter, som muskelceller, blodkärl och nerver hade återbildats.[73]

4.4.6 Artificiellt blod

Ett skotskt forskningskonsortium har lyckats omprogrammera hudceller, först till inducerade pluripotenta stamceller och sedan till röda blodkroppar. Potentiellt skulle det artificiella blodet kunna användas för att behandla patienter med sjukdomen talassemi, en ärftlig sjukdom som drabbar de röda blodkropparna.

Konsortiet, som leds av den skotska blodtransfusionsservicen, har under året fått ett strategiskt anslag på fem miljoner brittiska pund för att vidareutveckla tekniken för framställning av artificiellt blod. En möjlighet är att tillverka blod som är specifikt för varje patient, en annan att tillverka blod som kan användas universellt. Det skulle kunna lösa tillgängligheten av blod för transfusioner, speciellt för människor med ovanliga blodgrupper.[74]

5 Växter

5.1 Kommersiell odling av genetiskt modifierade grödor

Under 2014 odlades genetiskt modifierade grödor (GM-grödor) på 181 miljoner hektar världen över, en ökning med sex miljoner hektar jämfört med 2013. Totalt odlades GM-grödor i 28 länder (tabell 1). De största arealerna odlades i USA, följt av Brasilien, Argentina, Indien, Kanada och Kina.

Genetiskt modifierad soja odlades på 82 procent av den totala sojabönsarealen i världen. Motsvarande siffra för bomull var 68 procent, för majs 30 procent och för raps 25 procent. Övriga GM-växter som odlades kommersiellt under 2014 var aubergine, squash, papaya, alfalfa, sockerbeta, tomat, poppel och paprika (tabell 1, vilka grödor som odlas i vilket land). Sammanlagt har GM-grödor, från de första 1,7 miljoner hektaren 1996 fram till idag, odlats på cirka 1 785 miljoner hektar.

En GM-gröda är godkänd för odling inom EU. Det är en majs med som är resistent mot bland annat majsmott och betecknas MON810. Inom EU odlades den insektsresistenta majsen på 148 016 hektar under 2014. Majsen odlades i Spanien, Tjeckien, Portugal, Slovakien och Rumänien. Av de nära 150 000 hektaren, odlades cirka 92 procent i Spanien.[75]

Från MON810 förädlas majsen vidare för att få fram olika sorter för till exempel olika klimat. I december 2014 fanns 200 olika majssorter som bygger på MON810 i EU:s gemensamma sortlista över arter av lantbruksväxter.[76]

Tabell 1. De länder som odlade genetiskt modifierade (GM) grödor 2014. Länderna är sorterade efter antal hektar (ha) odlade GM-grödor. USA odlade flest ha, 73,1 miljoner ha, och Honduras och de andra åtta länderna i slutet på listan odlade vardera mindre än 50 000 ha. För varje land presenteras vilka GM-grödor som odlades under 2014.[77]

Land	Grödor[A]
USA	majs, sojaböna, bomull, raps, sockerbeta, alfalfa, papaya, squash
Brasilien	sojaböna, majs, bomull
Argentina	sojaböna, majs, bomull
Indien	bomull
Kanada	raps, majs, sojaböna, sockerbeta
Kina	bomull, papaya, poppel, tomat, paprika
Paraguay	sojaböna, majs, bomull
Pakistan	bomull
Sydafrika	majs, sojaböna, bomull
Uruguay	sojaböna, majs
Bolivia	sojaböna
Filippinerna	majs
Australien	bomull, raps
Burkina Faso	bomull
Burma	bomull
Mexiko	bomull, sojaböna
Spanien	majs
Colombia	bomull, majs
Sudan	bomull
Honduras	majs
Chile	majs, sojaböna, raps
Portugal	majs
Kuba	majs
Tjeckien	majs
Rumänien	majs
Slovakien	majs
Costa Rica	bomull, sojaböna
Bangladesh	aubergine

[A] Egenskaper hos de odlade genmodifierade grödorna:
alfalfa - herbicidtolerant; aubergine - insektsresistent; bomull - herbicidtolerant, insektsresistent; majs - herbicidtolerant, insektsresistent, torktolerant; papaya - virusresistent; paprika - virusresistent; poppel - insektsresistent; raps - herbicidtolerant; sockerbeta - herbicidtolerant; sojaböna - herbicidtolerant, insektsresistent; squash - virusresistent; tomat - fördröjd mognad.

5.2 Växtskadegörare

De pågår en ständig kamp mellan människan och växtskadegörare. Människan är helt beroende av de produkter som produceras i lantbruket, samtidigt som andra organismer som svampar, virus och insekter är intresserade av de odlade grödorna. Resistens är det samma som motståndskraft och resistensförädling innebär att en förädlare tar fram växtsorter som är mer eller mindre tåliga mot angrepp av skadegörare. Inom en art finns alltid en genetisk variation. Om en förädlare tar fram till exempel en potatis som tål angrepp från en viss skadeinsekt kan några av insekterna bära på en mutation som gör att de kan överlista potatisens försvar. Blir dessa insekter för många blir skadorna på potatisen stora och förädlaren måste hitta nya vägar för att skydda potatisen. Resistensförädling är alltså en ständigt pågående process.

5.2.1 Bakterien *Bacillus thuringiensis* och *Bt*-grödor

En typ av proteiner (cry-proteiner) som produceras av bakterien *Bacillus thuringiensis* (*Bt*) är giftiga för vissa grupper av insekter. Det finns varianter av proteinet som är giftiga för vissa arter inom insektsordningen coleoptera (skalbaggar) och andra som är giftiga för lepidoptera-arter (fjärilar, malar, mott) eller insekter inom ordningen diptera (flugor och myggor).

Produkter baserade på *B. thuringiensis* har länge använts för att bekämpa växtskadegörare i fram för allt ekologisk odling. *Bt*-produkter används också för att bekämpa myggor.

De grödor som gjorts insektsresistenta med hjälp av gener för cry-protein brukar kallas *Bt*-grödor och det är framförallt bomull och majs som modifierats med denna typ av gener. *Bt*-grödor började odlas 1996 och har sedan dess odlats på över 400 miljoner hektar världen över.

5.2.2 *Bt*-grödors påverkan på icke-målorganismer

En av de frågor som diskuteras när det gäller potentiellt negativa effekter på miljön i samband med odling av genmodifierade, insektsresistenta grödor är deras påverkan på icke-målorganismer (andra organismer än dem man vill bekämpa). Det har under åren publicerats hundratals artiklar på området och i väldigt få fall har man identifierat några negativa effekter. Nedan följer några exempel från 2014.

Forskare från Sydafrika har studerat hur den genmodifierade, insektsresistenta majsen som odlas där påverkar den biologiska mångfalden av leddjur. Till leddjur räknas insekter, spindeldjur, mångfotingar och kräftdjur. Forskarna jämförde hur många olika arter det fanns och hur rikligt de förekom i olika fält. Under de två odlingssäsonger som studien pågick kunde forskarna inte identifiera några skillnader i artrikedom mellan fält med genmodifierad respektive omodifierad majs.[78]

Skinnbaggarna *Geocoris punctipes* och *Orius insisiosus* är båda viktiga rovinsekter som fungerar som biologisk kontroll av skadegörare i många odlingssystem. I en studie publicerad under året utfodrades växtskadegörarna nifly (*Trichoplusia ni*) och nattflyet *Spodoptera frugiperda* med material från *Bt*-växter som tillsammans producerade tre olika cry-proteiner. Därefter utfodrades skinnbaggarna med dessa niflyn och nattflyn. Under två generationer studerades bland annat överlevnad och fortplantningsförmåga hos skinnbaggarna. Resultaten visade inte på några skillnader mellan de skinnbaggar som utfodrats med insekter som ätit material från *Bt*-växter och de som utfodrats med insekter som fått icke-modifierat växtmaterial.[79]

I en liknande studie utfodrades kålmalslarver (*Plutella xylostella*) med material från *Bt*-växter. Därefter utfodrades rundmasken *Heterorhabitis bacteriophora* med kålmalslarver. Liksom de skinnbaggar som nämns ovan är rundmasken ett viktigt rovdjur. Resultaten visade inte på några skillnader mellan de rundmaskar som utfodrats med larver som ätit material från *Bt*-växter och de som utfodrats med larver som fått icke-modifierat växtmaterial.[80]

I en tredje studie utfodrades skinnbaggen *Orius insisiosus* med en art av trips (*Thrips tabaci*) som ätit material från *Bt*-växter. Inte heller i detta fall fann forskarna några negativa effekter.[81]

5.2.3 Resistensutveckling i insektspopulationer

Inom en art finns det genetisk variation. Det betyder att det inom en insektspopulation kan finnas individer som är resistenta (motståndskraftiga) mot ett visst biologiskt eller kemiskt bekämpningsmedel. Med population menas en grupp individer av en art som finns inom ett visst område vid en viss tid. Om ett bekämpningsmedel används alltför ensidigt kommer andelen insekter som tål det bekämpningsmedlet att öka för varje generation och de som är känsliga kommer att minska. Det kan så småningom leda till att bekämpningsmedlet ifråga blir mer eller mindre verkningslöst.

När *Bt*-grödorna började odlas var en av frågorna hur snabbt de insekter man avsåg att bekämpa skulle utveckla resistens mot de cry-proteiner som grödorna producerar. Att de förr eller senare skulle göra det är vad man kan förvänta sig. Redan innan genmodifierade *Bt*-grödorna började odlas rapporterades det att kålmalen utvecklat resistens mot de *Bt*-preparat man besprutat med.[82]

Sedan *Bt*-grödorna började odlas 1996 har förvånansvärt få insektspopulationer utvecklat resistens mot cry-proteiner. Insekter utvecklar resistens mot konventionella bekämpningsmedel betydligt snabbare. Det antas bero på de förebyggande insatserna som sattes in tidigt. En av strategierna för att fördröja resistensutveckling är att i närheten av fälten odla grödor som inte är insektsresistenta, något som kallas refuger. På så vis bevaras en population av känsliga insekter. Logiken bakom detta är att de få insekter som initialt är resistenta med största sannolikhet kommer att para sig med de känsliga insekterna eftersom de är betydligt fler. Om resistensegenskapen nedärvs recessivt kommer avkomman att vara känslig mot toxinet och därmed saktas resistensutvecklingen i insektspopulationen ner. Att egenskapen är recessiv innebär att insekten måste ha två resistensanlag för att överleva. En annan strategi är att odla *Bt*-grödor som producerar två cry-proteiner som båda är giftiga mot samma insektsart, men har olika verkningsmekanismer.

Nu har forskare identifierat ett komplement till dessa strategier, växtskadegörares naturliga fiender. Kålmalens larver angriper bland annat raps, broccoli och vitkål och forskarna testade sin hypotes på insektsresistent *Bt*-broccoli. De insekter de studerade var nyckelpigor som är naturliga fiender till kålmalslarver. Genom att nyckelpigorna dödar och äter upp kålmalslarver minskade antalet resistenta larver. Därmed fördröjdes resistensutvecklingen i kålmalspopulationen. Det är relativt vanligt att lantbrukare besprutar refug-plantorna med kemiska bekämpningsmedel. Forskarna menar att detta kan snabba upp resistensutvecklingen eftersom bekämpningsmedlen kan skada naturliga fiender till växtskadegörare.[83]

Kina är världsledande när det gäller bomullsproduktion och en stor andel av den bomull som odlas är genmodifierad för att motstå angrepp från brunaktigt knölfly (*Helicoverpa armigera*). Till skillnad mot till exempel i USA och i Australien odlar man i Kina bara bomull som modifierats med en cry-gen. I Kina finns heller inget krav på refuger med omodifierad bomull. När grödor med endast en cry-gen odlas och

refuger av omodifierade grödor inte används ökar risken för att insektspopulationer ska bli resistenta mot det cry-protein bomullen producerar.

Nu har forskare studerat ett område i norra Kina där 98 procent av den bomull som odlas är *Bt*-bomull. Resultaten visar att anledningen till att knölflyet ännu inte utvecklat resistens är att de enskilda bomullsodlingarna är relativt små och att det odlas många andra grödor i närheten som flyet livnär sig på. Dessa odlingar fungerar alltså som ”naturliga” refuger.[84]

5.2.4 Bladmögelresistent potatis med gener från vilda släktingar

Få växtskadegörare har påverkat mänskligheten mer än *Phytophtora infestans*, en svampliknande organism (en oomycet) som orsakar bladmögel och brunröta på potatis. Eftersom den liknar en svamp men närmast är släkt med brunalger och kiselalger kallas den ibland för algsvamp.

Algsvampen kom till Belgien 1845 via infekterad potatis från USA och spred sig snabbt till andra delar av Europa. I Irland fick skadegörarens intåg katastrofala följder. De förstörda potatisskördarna ledde till att uppskattningsvis en miljon människor dog av svält och minst lika många emigrerade.

Fram till mitten av 1980-talet fanns bara en så kallad parningstyp av algsvampen i Sverige och den spreds då enbart via smittade knölar. Efter det att en andra parningstyp kommit in landet kan de två typerna korsa sig sexuellt och bilda oosporer. Sexuell förökning leder till en ökad genetisk variation och oosporerna är långlivade och kan övervintra i marken. Problemet med bladmögel har därmed ökat i Sverige.

Eftersom oosporerna kan övervintra besprutas potatisen i förebyggande syfte betydligt tidigare på året än vad som tidigare var brukligt. För att bekämpa bladmögel besprutas konventionella potatisodlingar i Sverige 5-12 gånger per säsong.

Det finns några få potatissorter som är tåliga mot bladmögel, exempelvis *Toluca* och *Bionica*. Dessa potatissorters motståndskraft beror på att en gen från den vilda potatisen *Solanum bulbocastanum* korsats in. Det komplexa förädlingsarbetet som ledde fram till dessa två potatissorter tog cirka 45 år.[85]

Den genmodifierade potatisen *Fortuna* bär på två gener från *S. bulbocastanum*. Det gör troligtvis resistensen hållbarare, det vill säga det tar längre tid för algsvampen att överlista potatisens inbyggda försvar. *Fortuna* försökodlades under några år i Sverige med goda resultat. En ansökan om marknads-godkännande för potatisen lämnades in till EU 2011. Året därpå meddelade företaget som utvecklat potatisen att de flyttar sin växtenhet från Europa till USA. Det innebar också att dotterbolaget *Plant Science Sweden* lades ner. Under 2013 drog företaget tillbaka sin ansökan om marknadsgodkännande av *Fortuna*.[86]

Forskare från Storbritannien har under tre år testat potatis som modifierats med en resistensgen från den vilda potatisen *Solanum venturii*. De två första åren var vädret inte till fördel för algsvampen. Det tredje året var dock väderförhållandena närmast perfekta för att algsvampen skulle infektera potatisplantorna. I mitten av augusti det tredje året var 100 procent av kontrollplantorna infekterade. De modifierade plantorna visade inga symptom på infektion. Det resulterade i en markant skillnad i skörd. De modifierade potatisarna gav mellan 6 och 13 kilo per planta, medan kontrollplantorna gav 1,6 till 5 kilo.[87]

I en annan studie har forskare från Nederländerna och Korea modifierat potatis med två resistensgener. Dels samma gen som den brittiska gruppen använde sig av, dels en gen från en annan vild potatissläkting, *Solanum stoloniferum*. Dessa plantor har ännu inte testats i fält.[88]

Potatisen *Innate*, som marknadsgodkändes i USA under 2014, innehåller även den genetiskt material från *Solanum venturii*.[89] I samtliga fall har gener från vilda potatissläktingar använts (6 Lagstiftningsfrågor, sidorna 41-44).

5.2.5 Fältförsök med genmodifierade, bakterieresistenta bananer

Banan är en viktig stapelgröda i Östafrika. I Uganda produceras cirka 10,5 miljoner ton varje år och ugandier äter i snitt 250 kilo bananer per person och år.

Sjukdomen BXW orsakas av en bakterie (*Xanthomonas campestris* pv. *musacearum*). Den är mycket allvarlig då den angriper hela bananplantan och kan förstöra en hel skörd. Sjukdomen drabbar alla typer av bananer och det finns i dagsläget inga motståndskraftiga sorter eller bekämpningsmedel som kan kontrollera sjukdomen.

Traditionell förädling av banan är komplicerad eftersom de bananer som odlas är sterila. Raderna av svarta prickar i frukten är början till frön som aldrig utvecklas.

Bananer som genetiskt modifierats för att motstå angrepp från bakterien har testats i fältförsök i Uganda. Sammanlagt testades 65 bananer som var och en modifierats med en av två olika gener från paprika. Av dessa 65 visade sig elva vara fullständigt resistenta mot bakterien. Alla omodifierade kontrollplantor vissnade ner, de flesta innan blomning.

Nu planerar forskarna att testa bananerna med fullständig resistens på flera platser i Uganda. De kommer också att testa bananplantor som bär på två paprika-gener. Tanken bakom att modifiera bananen med två gener är att det ska ta längre tid för bakterien att överlista de modifierade bananernas inbyggda försvar.[90] För fler exempel på genmodifierade grödor som utvärderas i fält i afrikanska länder, se bilaga 1.

5.3 Livsmedels- och fodersäkerhet

5.3.1 Foder som innehåller genmodifierade grödor har inte påverkat djurens hälsa

De första genmodifierade grödorna började odlas 1996 och idag räknar man med att över 95 procent av USA:s livsmedelsproducerande djur får foder som innehåller genmodifierade grödor. Det rör sig om miljarder djur varje år. Exempelvis föds nio miljarder broilers upp årligen och fodret består vanligtvis av majs och sojaböna. Nittio procent av den majs som idag odlas i USA är genmodifierad. För sojaböna är siffran 93 procent.

För att undersöka hur övergången till foder som innehåller genmodifierade grödor påverkat djuren har forskare analyserat uppgifter om djurens produktivitet och hälsa mellan åren 1983-1994 och 2000-2011. Siffrorna hämtades från offentliga databaser som exempelvis statistik som samlats in av USA:s jordbruksdepartement. Under perioden 2000-2011 utfodrades i storleksordningen 100 miljarder djur med foder som innehöll genmodifierade grödor.

Forskarna sammanställde bland annat uppgifter om djur som lever under en kort tid, som broilers och de som lever längre, som mjölkkor. De fann inga tecken på att djurens hälsa eller produktivitet skulle ha påverkats i negativ riktning på grund av övergången till foder som innehåller genmodifierade grödor. Exempelvis var dödligheten bland broilers i princip oförändrad genom åren, men som lägst 2011. Andelen broilers som ansågs otjänliga som föda hade minskat genom åren och var som lägst 2011.[91]

5.3.2 Resultat från EU-finansierad råttstudie

Den europeiska myndigheten för livsmedelssäkerhet (EFSA) består bland annat av vetenskapliga paneler och kommittéer som tar fram vägledande dokument för riskbedömning inom olika områden. Det finns bland annat en GMO-panel. Den 8 december 2013 trädde en ny genomförandeförordning i kraft. Den beskriver i detalj vad som krävs vid en riskbedömning av livsmedel och foder som består av, innehåller eller framställts från genetiskt modifierade organismer. GMO-panelens vägledande dokument ersattes alltså av lagstiftning. Genomförandeförordningen bygger i stora drag på GMO-panelens vägledande dokument från 2011, men ställer ytterligare krav på den som ansöker om ett marknadsgodkännande. Det finns bland annat krav på en rutinmässig 90-dagarssstudie där gnagare utfodras med genmodifierat växtmaterial.

Forskningsprojektet GRACE (*GMO Risk Assessment and Communication of Evidence*) är ett EU-finansierat projekt. I projektet ingår bland annat 90-dagars utfodringsstudier på råttor, utfodringsstudier under ett år, samt alternativa metoder som innebär att man inte använder försöksdjur utan istället cellkulturer eller datorsimuleringar. I genomförandeförordningen står att kravet på en 90-dagars utfodringsstudie i samband riskbedömning av genmodifierade organismer kommer att ses över mot bakgrund av resultaten från GRACE-projektet. En rad intressegrupper har deltagit i arbetet med att planera studiens upplägg och analysera resultaten. Alla publicerade artiklar och alla rådata kommer att vara fritt tillgängliga för vem som helst att granska.

Nu har GRACE-projektet publicerat de första resultaten. Det är resultat från en 90-dagars utfodringsstudie där två majssorter som innehåller genetiskt material från MON810 har använts. MON810 bär på en gen som gör den resistent mot vissa arter av insekter. Den godkändes för odling inom EU för 17 år sedan. Sedan dess har den använts i vidare förädling för att få fram olika sorter för till exempel olika klimat. I december 2014 fanns 200 majssorter med genetiskt material från MON810 på EU:s gemensamma sortlista över arter av lantbruksväxter. Förutom de två genmodifierade majssorterna ingick kontrollmaterial och fyra konventionella majssorter.

Råttornas hälsotillstånd kontrollerades två gånger per dag. Man undersökte till exempel huden, pälsen, slemhinnorna och förändringar i aktivitet och beteende. En gång per vecka gjordes en grundligare undersökning där man bland annat tittade på pupillstorlek och andningsmönster. I slutet av försöksperioden testades bland annat råttornas syn och hörsel.

Vid experimentets slut gjordes flera analyser av blodet. Till exempel beräknades antalet röda och vita blodkroppar och förhållandet dem emellan, antalet blodplättar och hemoglobinkoncentrationen. Dessutom analyserades en rad ämnen som visar på om det finns några effekter på inre organ som lever och njurar. Råttorna obducerades och olika organ vägdes. Mikroskopiska preparat studerades från hjärna, ryggrad, hypofys, sköldkörtel, bisköldkörtel, bräss, matstrupe, spottkörtlar, mage, tunntarm, tjocktarm, lever, bukspottkörtel, njurar, binjurar, mjälte, hjärta, lungor, luftstrupe, aorta, könskörtlar, livmoder, bröstkörtlar, urinblåsa, lymfkörtlar, benmärg, hud och perifera nerver. Forskarna fann inga negativa effekter till följd av att fodret innehöll genmodifierad majs.

Förutom GRACE-projektet har EU sponsrat ett annat projekt, G-TwYST (*Genetically modified plants Two Years Safety Testing*). I det projektet används både MON810 och en annan majs, NK603. NK603 var den majs som användes i den hårt kritiserade, franska råttstudien som publicerades 2012.[92] Förutom de två EU-finansierade projekten pågår ett franskt projekt med liknande inriktning. Projektet kallas GMO90+.[93]

5.4 De gyllene bananerna

Under hösten startade det första försöket på människor med betakaroten-berikade bananer. Försöket genomförs för att undersöka hur effektivt betakarotenet i de genmodifierade bananerna omvandlas till A-vitamin i kroppen. Brist på A-vitamin leder bland annat till blindhet. Den banansort som modifierats och som nu ska testas är den typ av kokbanan som är allra vanligast i Uganda, *East African Highland*-banan. Den har modifierats med en gen från asupina-banan som naturligt innehåller höga halter betakaroten. Den modifierade bananen är ett resultat av ett samarbete mellan forskare från Australien och Uganda.[94]

5.5 Gener från cyanobakterie gör fotosyntesen effektivare

Enzymet rubisco är inte bara ett av jordens viktigaste proteiner, det är också ett av de mest ineffektiva. Rubisco är ett nyckelenzym i fotosyntesen, den process som växter använder sig av för att med hjälp av solens energi omvandla koldioxid till växtbiomassa och syre. Rubisco är ineffektivt eftersom det inte bara reagerar med koldioxid utan också med syre, något som antas bero på att enzymet utvecklades redan under den tid då det fanns gott om koldioxid och lite syre i atmosfären.

Nu har forskare modifierat tobaksplantor så att de producerar ett effektivare rubisco-enzym. Generna som tobaken modifierats med isolerades från en encellig cyanobakterie. Enligt forskarna är det ett första steg mot grödor med en effektivare fotosyntes. Det i sin tur kan leda till högre skördar.[95]

5.6 Arvsmassor hos kålväxter

Kålväxter (*Brassica*) omfattar bland annat kål, raps och rybs, alla tre viktiga grödor. De olika arterna inom kålsläktet varierar mycket när det gäller utseendet.[96] Den vilda åkerkålen (*Brassica rapa*) har genom förädling gett upphov till oljeväxter (rybs), bladgrönsaker (till exempel kinakål och Pak Choy) och rotfrukter (rova).[97] Hos kål (*Brassica oleracea*) är det till exempel extrema bladvarianter (som vitkål och grönkål), blommutanter (som blomkål och broccoli) eller den uppsvällda stjälken (kålrabbi) som används som grönsak.[98] Raps (*Brassica napus*) är en relativt ny art som uppstod för cirka 7 500 år sedan genom att kål och åkerkål korsades. Förmodligen skedde det vid upprepade tillfällen i sydvästra Europa.[99] Genom förädling har vi fått den oljeväxt som odlas idag och en rotfrukt (kålrot).[100] Under året har ett stort antal forskningsartiklar publicerats där delar av arvsmassorna hos olika *Brassica*-släktningar jämförts för att bättre förstå till exempel egenskaper som är av nytta inom jordbruket. [101]

En forskargrupp har studerat vilka gener som styr regleringen av hur bladen bildas i åkerkål (*B. rapa*) för att bättre förstå hur en och samma art kan få så olika bladformer som bladen hos rybs jämfört med bladen hos Pak Choy. De fann fyra områden i åkerkålens arvsmassa som har stor betydelse för bladutveckling, blomningstid och plantans utseende och form.[102] Ytterligare en forskningsgrupp har undersökt hur arvsmassan hos olika underarter av åkerkål påverkar bildandet av blad och blomningstiden.[103] Under 2014

publicerades sekvensen hos arvsmassorna från vitkål (*B. oleracea* sp. *capitata*)[104] och höstraps (*B. napus*).[105] Sedan tidigare har arvsmassan hos kinakål (*B. rapa*) sekvensbestämts.[106] När de olika arvsmassorna jämfördes kunde forskarna se flera förändringar av ordningsföljden av gener och andra element i arvsmassorna. Detta är annorlunda jämfört med motsvarande studier i tomat och potatis samt äpple och päron. Dessa arvsmassor liknar varandra både vad det gäller själva sekvensen och ordningen av gener och andra genetiska element, medan *Brassica* arvsmassorna är lika vad det gäller sekvensen men inte ordningen.[107]

5.7 Så kan kunskapen om arvsmassan användas i växtförädling

Idag finns mer än 140 sekvensbestämda växtarter.[108] Många av dessa arter odlas. Men, det räcker inte med att ha DNA-sekvensen, man måste också förstå vad som står där. Ett antal forskare diskuterade under året hur man skulle kunna gå vidare och använda sekvensinformationen i växtförädling. De föreslår till exempel att man ska dra nytta av redan existerande växtpopulationer som används för förädling och forskning[109] (till exempel samlingar av olika mutanter).[110] Tanken är att man sekvensbestämmer de olika individerna i dessa populationer och systematiskt sammanställer de egenskaper de har (till exempel frönas storlek och motståndskraft mot sjukdomar). Sedan kan man kombinera all denna information för att få så kallade genetiska markörer. En markör är en viss DNA-sekvens eller genvariant som hör ihop med en specifik egenskap.[111] Grundprincipen är den samma som alltid har funnits i forskningen och växtförädlingen, men tanken här är att kombinera mycket större mängder information.

5.8 Växter som saknar kloroplast-DNA

I biologiundervisningen världen över får studenter lära sig att växter har arvsmassa på tre platser i cellen, i cellkärnan, i mitokondrierna och i kloroplasterna (figur 3). Intressant nog har forskare hittat fem olika arter som saknar arvsmassa i kloroplasten, dels fyra arter alger som tillhör släktet *Polytomella*[112] och en parasit *Rafflesia lagascae*.[113]

5.9 Genmodifierad kastanj med bättre skydd mot sjukdom

Den amerikanska kastanjen (*Castanea dentata*) hade ett stort ekonomiskt värde innan den nästan helt och hållet under 1900-talets första hälft slogs ut på grund av kastanjekräfta som orsakas av svampen *Cryphonectria parasitica*. Under årens lopp har förädlingsprojekt där man korsar den mer motståndskraftiga kinesiska kastanjen (*Castanea mollissima*) med den amerikanska pågått. Detta är ett tidsödande arbete bland annat på grund av att det krävs flera generationer av återkorsning. Nu har amerikanska forskare modifierat den amerikanska kastanjen med en vetegen som ger motståndskraft mot svampsjukdomar. Den genmodifierade kastanjen har en större motståndskraft mot svampen *C. parasitica* än den omodifierade amerikanska kastanjen, men tål inte svampangrepp lika bra som den kinesiska kastanjen. Forskarna har gått vidare med sitt projekt och hoppas att de kan hitta en optimal kombination av gener som ger tålighet mot svampsjukdomar i kastanj. Deras mål är att rädda kvar den amerikanska kastanjen.[114]

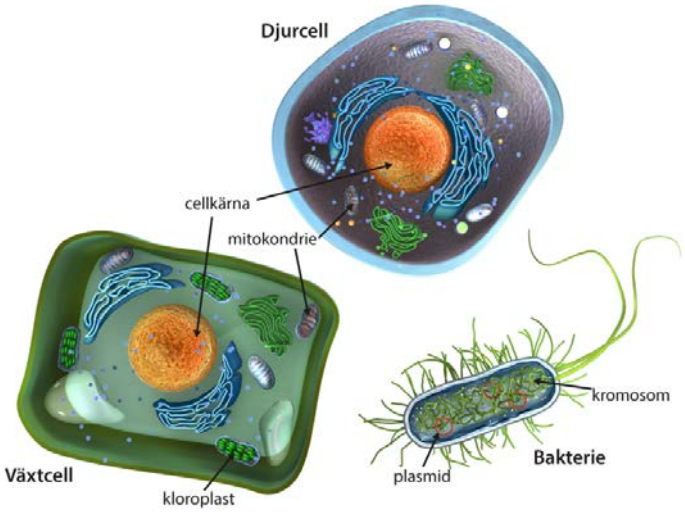
5.10 Genmodifierad asp som blommar tidigt

Det finns en genmodifierad (GM) asp (*Populus tremula*) som bär på en gen som aktiveras av höga temperaturer under en längre tid och som gör att aspen börjar blomma. I ett växthusförsök korsades GM-aspen med europeisk asp (*P. tremula*) respektive amerikansk asp (*Populus tremuloides*). Detta gjordes för att bättre förstå egenskapen hos GM-aspen, vilka temperaturer som behövs för att aktivera blomningen med mera. Forskarna tänker sig att man skulle kunna ha genmodifierade träd som blommar tidigt som föräldrar under förädlingsarbetet. Det skulle snabba på förädlingsprocessen. I slutskedet korsar man GM-träden med omodifierade träd och de avkommor som inte bär på genen som gör att de blommar tidigt skulle sedan kunna planteras ut.[115]

5.11 Reglering av fosfatupptag i växter

Fosfat är ett viktigt näringsämne för bland annat växter. Det är en av de avgörande faktorerna för tillväxt, och därmed produktiviteten hos grödor. Dock är fosfat ett av de mer svårtillgängliga makronäringsämnena, då det bland annat binder hårt till jordpartiklar.[116] Växter har på olika sätt anpassat sig för att effektivare ta upp, använda och återanvända fosfat.[117] Ökad kunskap om hur näringsupptag i växter fungerar kan användas för att effektivisera gödsling eller odling på näringsfattiga jordar.

Under det gångna året har genen *AtERF070* karakteriserats. Vid fosfatbrist aktiveras genen i rötter och i skott, men inte i blommor. Själva AtERF070-proteinet är aktivt i cellkärnan. Genen *AtERF070* har betydelse för både skott- och rotutvecklingen, upptaget av fosfat och blomningen och aktiveras vid fosfatbrist. Det kanske är ett sätt att överleva på fosfatfattiga jordar.[118]



Figur 3. Det finns olika typer av celler. Djurceller omges av ett cellmembran, medan växt- och bakterieceller omges av både ett membran och en yttre cellvägg. Inuti cellerna finns det olika strukturer, rum och molekyler som till exempel cellkärnan. Växt- och djurceller har en cellkärna, men bakterier saknar cellkärna. I cellkärnan finns större delen av arvsmassan hos djur och växter. Dessutom finns det arvsmassa i mitokondrierna och i kloroplasterna. Mitokondrier finns i djur- och växtceller. Kloroplaster finns bara i växtceller. Copyright: Gunilla Elam.

6 Lagstiftningsfrågor

6.1 Nya tekniker och GMO-lagstiftningen

Inom EU finns en gemensam lagstiftning som reglerar användningen av genetiskt modifierade organismer (GMO) bland annat direktiv 2001/18/EG om avsiktlig utsättning av genetiskt modifierade organismer i miljön och direktiv 2009/41/EG om innesluten användning av genetiskt modifierade mikroorganismer. Lagstiftningen är teknikbaserad och de delar av direktiven som beskriver vad en GMO är 25 år gamla. Under den perioden har utvecklingen inom det gentekniska området gått mycket fort. Det har lett till att det i nuläget är oklart om vissa tekniker leder till en GMO som ska regleras eller inte. Inom EU har man sedan 2007 diskuterat åtta nya tekniker där det är oklart om slutprodukten ska klassas som en GMO som ska regleras eller inte.

I de GMO som hittills godkänts för kommersiell användning har en DNA-sekvens tillförts i syfte att producera ett visst protein eller för att stänga av produktionen av ett visst protein i organismen. Flera av de nya teknikerna resulterar i en produkt som inte innehåller något nytt DNA.

Exempelvis finns det idag en rad tekniker för att skapa riktade mutationer i arvsmassan. De bygger på nukleaser, enzymer som kan klippa itu DNA-spiralen. Till nukleaset kopplas specialdesignade proteiner eller RNA-molekyler som leder nukleaset till en förutbestämd plats i arvsmassan. Forskaren kan alltså på förhand bestämma var, bland alla miljarder baspar som bygger upp arvsmassan, som brottet ska ske. Teknikerna kan användas på olika sätt. Genom att skapa en riktad mutation kan en specifik gen in-aktiveras. Teknikerna kan också användas för att byta ut enstaka baspar i till exempel en sjukdomsgen och för att placera en ny gen på en förutbestämd plats i arvsmassan.

De första av dessa teknikern var zinkfingernukleas-tekniken (ZFN) och tekniker som bygger på mega-nukleaser. Dessa började utvecklas under 1990-talet. Under 2009 började TALEN-tekniken användas och under 2013 fick CRISPR/Cas9-tekniken ett stort genomslag i forskarvärlden. En bidragande orsak till CRISPR/Cas9-teknikens stora genombrott är att den är betydligt enklare och billigare att använda än de äldre teknikerna. Teknikerna har använts för att förändra arvsmassan i allt ifrån råttor, möss, zebrafiskar och apor till jästsvampar, bakterier, bananflugor, malariaparasiter[119] och en rad växter som vete,[120] ris,[121] backtrav,[122] majs[123] och apelsin.[124]

På den lista som sattes samman när arbetet inom EU startade 2007 fanns ZFN-tekniken med, men inte meganukleaser, TALEN eller CRISPR/Cas9. Den sistnämnda och modernaste tekniken skiljer sig från de tre andra genom att RNA-molekyler används för att hitta till rätt plats i arvsmassa. I de andra teknikerna är det proteiner som sköter den uppgiften. Om det har någon betydelse för hur teknikerna kommer att regleras är idag oklart.

På EU:s lista finns också cisgena och intragena organismer. I båda fallen rör det sig om organismer som modifierats med genetiskt material från den egna arten eller från en korsningsbar art. För att en organism ska kallas cisgen får inga förändringar av det ursprungliga genetiska materialet som används vid modifieringen göras. I intragena organismer har genen förändrats på något sätt. Man kan till exempel ha kopplat en startsekvens för en viss potatisgen till en annan potatisgen eller avlägsnat delar av genen.

Ytterligare en teknik som diskuteras är omvänd förädling. Då används genmodifiering tidigt under förädlingsprocessen, men det finns inget nytt genetiskt material kvar i slutprodukten.

Även agroinfektion diskuteras. Tekniken används på laboratorium för att producera proteiner av olika slag. Företaget *iBio Inc* specialiserar sig exempelvis på storskalig produktion av proteiner för behandling av infektionssjukdomar.

Vid agroinfektion modifieras bakterien *Agrobacterium tumefaciens* med gener för de proteiner man vill tillverka. En lösning med de modifierade bakterierna förs därefter in i växten med hjälp av till exempel vacuum. I växten produceras snabbt stora mängder protein, som efter några veckor kan renas fram ur växten. När agroinfektion används är syftet inte att några gener ska integreras i växtens arvsmassa.

6.1.1 Hur vissa nya tekniker bedöms i USA

Om den som utvecklar en ny växtsort är osäker på om den ska regleras eller inte kan man i USA skicka ett så kallat *Letter of Inquiry* till enheten *Animal and Plant Health Inspection Services* (APHIS) vid Jordbruksdepartementet. Sammanlagt har 26 sådana brev skickats in de senaste 20 åren, varav 21 stycken från 2011 och framåt. Det rör sig om frågor om till exempel potatis som tagits fram med hjälp av TALEN-tekniken och majs som fått en ny egenskap med hjälp av ZFN-tekniken. I de fall där inget nytt genetiskt material integrerats i mottagarväxtens arvsmassa anser APHIS att det inte är någon reglerad produkt. Det finns också exempel på förfrågningar där forskare använt genmodifiering under förädlingsprocessen men där det inte finns något nytt genetiskt material kvar i slutprodukten. Det gäller till exempel plommon och durra. Inte heller i dessa fall har APHIS ansett att de ska regleras.

Andra frågor rör cisgena eller intragena organismer. När det gällde en fråga om en druva med högre halt av färgämnet antocyanin ansåg APHIS att det inte var en reglerad produkt. Däremot ansågs skorvresistenta äpplen vara det. Detta på grund av att man använt en växtpatogen (*Agrobacterium tumefaciens*) vid överföringen av det genetiska materialet till äpplet.[125]

En av de åtta tekniker som diskuteras inom EU har utvecklats av företaget *Cibus* och kallas RTDS (*Rapid Trait Development System*). Med denna teknik kan man byta ut enstaka baspar i arvsmassan och därmed ge en växt en ny egenskap. I USA anses tekniken inte leda till en GMO och en raps som tagits fram med RTDS-tekniken finns redan på marknaden. Under 2014 har också Kanada beslutat att godkänna rapsen.[126]

Eftersom det rör sig om mycket små förändringar av arvsmassan är det omöjligt att med hjälp av analyser avgöra om förändringen kommit till via traditionella förädlingsmetoder, via RTDS-tekniken eller om förändringen uppstått spontant. Detsamma gäller i de fall man använder tekniker som TALEN och CRISPR/Cas9 för att enbart skapa mutationer. Det går inte att särskilja dem från konventionellt framtagna produkter. En detektionsmetod är ett krav för att få ett marknadsgodkännande enligt EU:s GMO-lagstiftning.

Nedan följer några exempel på hur nya tekniker använts inom forskningen under 2014.

6.1.2 Mjöldaggsresistent vete med hjälp av riktade mutationer

Kinesiska forskare har tagit fram ett vete som är resistent mot mjöldagg orsakad av svampen *Blumeria graminis*. De har använt sig av de nya teknikerna TALEN och CRISPR/Cas9. De gener forskarna inaktiverat är gener vars proteiner trycker ner vetets försvar mot mjöldagg. Man kan säga att de tagit bort den broms som hindrar växtens eget försvar.

Att på detta sätt ändra en egenskap i en gröda som vete är särskilt svårt eftersom vete har sex kopior av varje kromosom (hexaploid). Det betyder att vetet har tre par av liknande, men inte identiska kopior av de flesta av sina gener. För att få den önskade egenskapen måste alla kopior av den gen man vill inaktivera muteras.[127]

6.1.3 Ändrad fettsyrasammansättning med riktade mutationer

Olja från sojaböna har en hög halt av fleromättade fettsyror. Fleromättade fettsyror blir instabila och oxiderar vid höga temperaturer. För att stabilisera oljan används en kemisk process som kallas härdning. Vid härdningen bildas bland annat transfettsyror.

På marknaden i USA finns två genetiskt modifierade sojabönor med en fettsyrasammansättning som gör att den är mer stabil. Man behöver därför inte härda oljan. Ansökningar om marknadsgodkännande inom EU av de två sojabönorna lämnades in 2007 respektive 2010. Nu har forskare vid företaget *Cellectis* använt TALEN-tekniken för att få fram samma fettsyrasammansättning.

I samtliga fall har två gener i sojaböna inaktiverats. När det gäller de i USA marknadsgodkända sojabönorna har det gjorts med klassisk genetisk modifiering, medan *Cellectis* forskare har stängt av generna genom att skapa riktade mutationer. I det sistnämnda fallet har inget nytt DNA integrerats i sojabönans arvsmassa.[128]

6.1.4 Växter som feromon-fabriker

Feromoner är doftämnen som används av bland annat insekter för att kommunicera. Det finns olika typer av feromoner. De som insekter utsöndrar för att locka till sig en partner kallas sexualferomoner.

Feromoner används som ett miljövänligt alternativ för att bekämpa växtskadegörare. De kan till exempel användas för att störa parningen. När luften mättas av sexualferomoner får hanarna svårt att lokalisera en hona att para sig med. Feromoner kan också användas som lockbete i insektfällor.

Även om användning av feromoner i sig är en miljövänlig bekämpningsstrategi är tillverkningen av syntetiska feromoner mindre miljövänlig. Vid produktionen används skadliga kemikalier och farliga biprodukter kan bildas.

Nu har forskare från bland annat Sverige, med hjälp av agroinfektion, utvecklat en mer miljövänlig process för produktion av feromoner som lockar till sig häggspinnmal. Bakterien *Agrobacterium tumefasciens* modifierades med gener för produktion av feromonerna. En lösning med de modifierade bakterierna fördes därefter in i växten. I växten producerades sedan feromoner.

Forskarnas långsiktiga mål är att producera olika typer av insektsferomoner i genmodifierade växter. Om dessa växter inte har några negativa miljöeffekter skulle de kunna planteras i fält och där kontinuerligt avge feromoner för att skydda odlingarna från skadegörare.[129]

6.1.5 Genmodifierade potatisar och äpplen

När vissa ämnen i potatis kommer i kontakt med syre mörknar potatisen. Det kan inträffa när potatisen utsätts för stötar vid till exempel skörd eller transport. Samma sak händer om potatisen skärs i bitar. Den process som gör att potatisen mörknar i kontakt med syre är beroende av ett enzym (polyfenoloxidas) i potatisen. Företaget *J.R. Simplot* har genetiskt modifierat olika potatissorter så att inget eller väldigt lite av enzymet produceras. Det gör att potatisarna inte mörknar när de utsätts för skador. Potatisen har också motståndskraft mot algsvampen *Phytophtora infestans* som orsakar bladmögel och brunröta och bildar lägre halter av akrylamid än omodifierad potatis när de friteras. Enligt den europeiska myndigheten för livsmedelssäkerhet (EFSA) kan akrylamid potentiellt öka risken för cancer. Den 10:e november 2014 godkändes potatisarna i USA.

Liksom potatis blir äpplen bruna när ämnen i äpplet reagerar med syre. Det kanadensiska företaget *Okanaga Speciality Fruit* har genetiskt modifierat två välkända äppelsorter *Golden Delicious* och *Granny Smith* så att inget eller väldigt lite av enzymet polyfenoloxidas produceras. Det gör att äpplet inte mörknar. De modifierade äpplena kallas *Arctic Apples* och en ansökan om marknadsgodkännande av äppelsorterna är under utvärdering i USA.

De DNA-sekvenser som potatisarna modifierats med kommer alla från vilda potatissläktingar eller odlad potatis och äppel-sekvenserna från äpple. Det rör sig alltså om intragena organismer.

6.2 Ny glyfosat-tolerant sojaböna utan patent

I mars 2015 går patentet på företaget Monsantos Roundup-Ready-teknik ut. Roundup-Ready-grödor är toleranta mot herbicider baserade på glyfosat. Företaget har delat med sig av förädlingsmaterialet och universitetet i Arkansas har nyligen släppt en egen glyfosat-tolerant sojaböna. Det innebär att de lantbrukare som odlar den nya glyfosat-toleranta sojabönan inte behöver betala den extra kostnad som patenterat utsäde innebär. De kan också spara en del av skörden för att använda som utsäde nästkommande säsong om de så önskar.[130]

6.3 Alfalfa med lägre ligninhalt godkänd i USA

Alfalfa odlas för att användas som foder. Avkastningen från alfalfa blir som störst om den skördas när den står i full blom, men kvaliteten försämras ju äldre plantan blir. Alfalfan skördas därför innan avkastningspotentialen är som störst. Att skörden försämras med plantans ålder beror på att lignin-halten ökar ju äldre alfalfan blir. Ligninet som finns i växtens cellväggar gör det svårt för bakterierna i kornas mage att bryta ner cellulosan och hemicellulosan i cellväggarna. Under året har en genmodifierad alfalfa med lägre ligninhalt godkänts i USA Den lägre ligninhalten gör att den modifierade alfalfan kan skördas när avkastningen är som största utan att kvaliteten försämras.[131]

6.4 Märkning av GMO

Inom EU finns krav på att produkter som består av, innehåller eller har framställts från genetiskt modifierade organismer ska märkas. Undantagna från märkningsreglerna är enzymer, aminosyror och vitaminer som framställts av genetiskt modifierade mikroorganismer. Inte heller textilier eller sedlar som framställts från genmodifierad bomull behöver märkas. I USA finns inte någon märkningslagstiftning. Under 2014 har det, på initiativ från allmänheten, hållits folkomröstningar i delstaterna Colorado och Oregon. I båda fallen förlorade de som förordade märkning.

6.5 Medlemsstaternas rätt att förbjuda odling av genmodifierade grödor

I juli 2010 presenterade EU-kommissionen ett förslag som gick ut på att medlemsstaterna själva skulle få bestämma om de ville tillåta, begränsa eller förbjuda odling av genetiskt modifierade grödor inom sitt lands gränser. Detta efter det att en gröda genomgått den obligatoriska miljö- och hälsoriskbedömningen och gemensamt godkänts av medlemsstaterna.

Efter flera turer nådde miljöministerrådet i juni 2014 en politisk överenskommelse om ett utkast till ett direktiv om ändring av direktiv 2001/18/EG om avsiktlig utsättning av genetiskt modifierade organismer i miljön. I november röstade Europaparlamentets miljöutskott igenom ett förslag som på flera punkter skiljde sig från rådets. Förslaget gick mycket längre när det gäller möjligheten för medlemsstaterna att förbjuda odling av en genmodifierad gröda. Efter omröstningen i miljöutskottet startade diskussioner mellan rådet, parlamentet och kommissionen och den tredje december 2014 nådde de en preliminär politisk överenskommelse.

Enligt lagstiftningsförslaget kan en medlemsstat under godkännande processen av en viss genmodifierad gröda kräva att hela eller delar av landet undantas i fråga om odling. En medlemsstat får också efter ett godkännande anta bestämmelser som begränsar eller förbjuder odling inom landets gränser. Skälen att förbjuda odling i en viss medlemsstat kan vara:

- Miljöpolitiska mål som kompletterar den vetenskapliga riskbedömningen som görs inom EU
- Fysisk planering
- Markanvändning
- Socioekonomiska effekter
- Undvikande av förekomst av genetiskt modifierade produkter
- Jordbrukspolitiska mål
- Allmän ordning

Den 13 januari 2015 röstade parlamentet igenom förslaget. Förslaget måste också godkännas i ministerrådet. Den nya lagstiftningen beräknas träda i kraft under våren 2015.[132]

7 Sekvensbestämda arvsmassor

Varje år publiceras det allt fler sekvensbestämda arvsmassor. Vid sekvensbestämning tar man reda på vilka nukleotider som finns i en DNA eller RNA-molekyl och i vilken ordning de sitter. Det går också att sekvensbestämma ett protein. Ibland används också ordet sekvensering. I årets rapport har vi valt att sammanställa ett urval av arvsmassor (tabell 2).

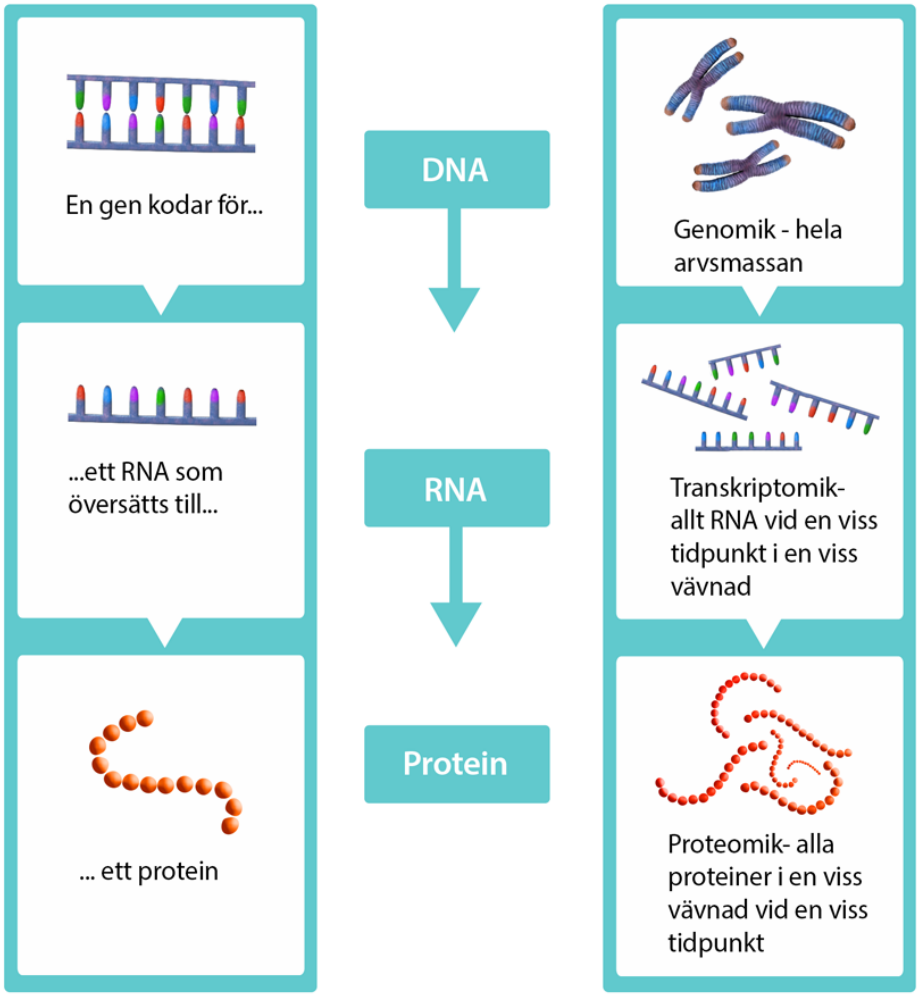
En del av sekvenserna representerar hela arvsmassan, det vill säga allt DNA i cellkärnan, mitokondrien och kloroplasten (beroende på organism). I vissa fall är det enbart DNA:t i cellkärnan eller mitokondrien eller kloroplasten som studerats. För definitioner av cellkärna, mitokondrie och kloroplast (figur 3). Exempel på sekvensbestämda arvsmassor är afrikanskt ris (*Oryza glaberrima*)[133] och isbjörn (*Ursus maritimus*).[134]

I vissa fall är det första gången arvsmassan har sekvensbestämts (till exempel vete, *Triticum aestivum*)[135] och i andra fall har arten sekvensbestämts flera gånger tidigare (till exempel häst, *Equus ferus*).[136] Skälet till att en arvsmassa sekvensbestämts för första gången är för att få tillgång till denna information. När forskare sekvensbestämmer en redan analyserad arvsmassa kan det bero på flera saker, till exempel att man vill jämföra två olika raser inom en art.

Ofta sekvensbestämmer man arvsmassan från en eller mycket få individer (till exempel darrål, *Electrophorus electricus*).[137] När man sekvensbestämmer en redan analyserad arvsmassa då händer det att man sekvensbestämmer allt från ett tiotal sorter (till exempel spanskpeppar, *Capsicum annuum*)[138] upp till tusentals sorter (ris, *Oryza sativa*).[139] Det finns också exempel på när man sekvensbestämmer olika, men väldigt närbesläktade arter (till exempel olika tomatarter).[140] Skälen till att arvsmassan hos flera individer, raser eller närbesläktade arter sekvensbestäms är att forskarna till exempel vill vet mer om hur evolutionen eller domesticeringen har påverkat arvsmassan.

Det är inte bara arvsmassan, det vill säga DNA:t, som sekvensbestäms, utan också det så kallade transkriptomet kan sekvensbestämmas. Transkriptomet utgörs av RNA:t och ger en ögonblicksbild av aktiviteten hos arvsmassan (figur 4). Forskarna studerar transkriptomet dels för att förstå hur arvsmassan hos en viss organism reagerar vid en viss tidpunkt eller behandling (till exempel vilka gener som är inblandade i fruktmognad hos spanskpeppar),[141] men också hur själva arvsmassan är uppbyggd.

Ibland har forskarna tittat på allt RNA, det vill säga hela transkriptomet, i en viss vävnad vid en viss tidpunkt (till exempel i monarkfjäril, *Danaus plexippus*).[142] I andra fall så är forskarna intresserade av en viss typ av RNA.



Figur 4. Inom genetiken kan man välja att studera en gen i taget (den vänstra spalten) eller alla (eller många) gener samtidigt (den högra spalten). Genen eller generna kan studeras på DNA-nivån. Det gör man till exempel när man sekvensbestämmer hela arvsmassan. Det går också att undersöka genen när den har aktiverats och översatts till RNA eller protein. Copyright: Gunilla Elam.

Tabell 2. I tabellen nedan finns ett urval av sekvensbestämda organismer. Det kan vara hela eller delar av arvsmassorna och hela eller delar av transkriptomen som är sekvensbestämda (för definition av transkriptom se figur 4). Dessutom kan det vara för första gången som arten är sekvensbestämd eller så har den sekvensbestämts flera gånger tidigare. I tabellen är inte bara organismer inkluderade. Det förekommer också sekvenserade virus och celler.

Art **Svenska**	**Engelska**	**Latin**
Bakterier		
-	-	*Xylella fastidiosa*[143]
Virus, celler		
cancer	cancer	-[144]
ebola virus	Ebola virus	-[145]
-	fruit bat alphaherpesvirus 1	-[146]
-	Melbournevirus	*Marseilleviridae*[147]
Djur		
16 myggarter	-	-[148]
48 fågelarter	-	-[149]
103 insektsarter	-	-[150]
232 tjurar/234 nötdjur	232 bulls/234 cattle	*Bos taurus*[151]
afrikansk vildåsna	Somali wild ass	*Equus africanus somaliensis*[152]
alligator	American alligator	*Alligator mississippiensis*[153]
alpacka	alpaca	*Vicugna pacos*[154]
bananfluga	common fruit fly	*Drosophila melanogaster*[155]
basenji	basenji	*Canis lupus*[156]
bergzebra	Hartmann's mountain zebra	*Equus zebra*[152]
broskfisk	elephant shark	*Callorhinchus milii*[157]
brunbjörn	brown bear	*Ursus arctos*[158]
ciklider	cichlid	*Astatotilapia burtoni*[159]
ciklider	cichlid	*Metriaclima zebra*[159]
ciklider	cichlid	*Pundamilia nyererei*[159]
ciklider	Nile tilapia	*Oreochromis niloticus*[159]
ciklider	Princess cichlid	*Neolamprologus brichardi/pulcher*[159]
darrål	electric eel	*Electrophorus electricus*[160]
dingo	dingo	*Canis lupus*[156]
dromedar	dromedary	*Camelus dromedarius*[154]
fågelspindlar	Brazilian white-knee tarantula	*Acanthoscurria geniculata*[161]
får	sheep	*Ovis aries*[162]
gavial	Indian gharial	*Gavialis gangeticus*[153]
grevyzebra	Grevy's/Imperial zebra	*Equus grevyi*[152]
grå trubbnäsapa	gray snub-nosed monkey	*Rhinopithecus brelichi*[163]
gråkråka	hooded crow	*Corvus cornix*[164]
guldschakal	golden jackal	*Canis aureus*[156]
gyllene trubbnäsapa	golden snub-nosed monkey	*Rhinopithecus roxellana*[163]
hakmask	New World hookworm	*Necator americanus*[165]
halvåsna	onager	*Equus hemionus*[152]
honungsbi	honeybee	*Apis mellifera*[166]
husfluga	house flies	*Musca domestica*[167]
häst (före domesticeringen)	horse - pre-domesticated	*Equus ferus*[152]
isbjörn	polar bear	*Ursus maritimus*[158]
kamel	Bactrian camel	*Camelus bactrianus*[154]
kanin	rabbit	*Oryctolagus cuniculus*[168]
karp	common carp	*Cyprinus carpio*[169]

katt	cat	*Felis catus*[170]
kiang	Tibetan wild ass	*Equus kiang*[152]
kungsörn	golden eagle	*Aquila chrysaetos* sp *canadensis*[171]
kvagga (utdöd)	quagga	*Equus quagga quagga*[152]
långhårig gibbon	pilated gibbon	*Hylobates pileatus*[172]
markgräshoppor	migratory locust	*Locusta migratoria*[173]
monark	African monarch	*Danaus chrysippus*[174]
monark	queen butterfly	*Danaus gilippus*[174]
monark	southern monarch	*Danaus erippus*[174]
monark	tropical queen	*Danaus eresimus*[174]
monarkfjäril	monarch butterfly	*Danaus plexippus*[174]
myror	clonal raider ant	*Cerapachys biroi*[175]
människa	human	*Homo sapiens*[155,176]
neandertalmänniska	Neanderthals	*Homo neanderthalensis*[177]
nordlig vitkindad gibbon	white-cheeked gibbon	*Nomascus leucogenys*[172]
orre	black grouse	*Tetrao tetrix*[178]
piskmask	porcine whipworm	*Trichuris suis*[179]
piskmask	whipworm	*Trichuris muris*[180]
piskmask	whipworm	*Trichuris trichiura*[180]
plattfiskar	tongue sole	*Cynoglossus semilaevis*[181]
plattmask	Asian liver fluke	*Opisthorchis viverrini*[182]
regnbåge/regnbågsöring	rainbow trout	*Oncorhynchus mykiss*[183]
rundmask	roundworm	*Caenorhabditis elegans*[155]
saltvattenskrokodil	saltwater crocodile	*Crocodylus porosus*[153]
sammetsspindlar	African social velvet spider	*Stegodyphus mimosarum*[161]
siamang	siamang	*Symphalangus syndactylus*[172]
silvergibbon	Javan gibbon	*Hylobates moloch*[172]
skogshare	mountain hare	*Lepus timidus*[168]
slamdjävul	hellbender	*Cryptobranchus alleganiensis*[184]
slamkrypare	giant-fin mudskipper	*Periophthalmus magnuspinnatus*[185]
smörbultsfiskar	blue mudskipper	*Scartelaos histophorus*[185]
smörbultsfiskar	blue-spotted mudskipper	*Boleophthalmus pectinirostris*[185]
smörbultsfiskar	giant mudskipper	*Periophthalmodon schlosseri*[185]
snöskohare	snowshoe hare	*Lepus americanus*[168]
stäppzebra	plains/Grant's zebra	*Equus quagga boehmi*[152]
svart trubbnäsapa	black snub-nosed monkey	*Rhinopithecus bieti*[163]
svartkråka	carrion crow	*Corvus corone*[164]
tamiller	sable ferret	*Mustela putorius furo*[186]
termit	dampwood termite	*Zootermopsis nevadensis*[187]
trubbnäsapor	Myanmar snub-nosed monkey	*Rhinopithecus strykeri*[163]
varg	wolf	*Canis lupus*[156]
vildkatt	European wildcat	*Felis silvestris*[170]
vit silkesapa	common marmoset	*Callithrix jacchus*[188]
östasiatiskt bi	Asian bee	*Apis cerana*[166]
östlig hoolockgibbon	eastern hoolock	*Hoolock leuconedys*[172]

Växter och svampar		
afrikanskt ris	African rice	*Oryza glaberrima*[189]
amerikanskt tranbär	cranberry	*Vaccinium macrocarpon*[190]
apelsin	sweet orange	*Citrus sinensis*[191]
bomull	cotton	*Gossypium arborerum*[192]
bomull	cotton	*Gossypium hirsutum*[193]
brakvedsväxt	jujube	*Ziziphus jujuba*[194]
böna	common bean	*Phaseolus vulgaris*[195]
emmervete eller durumvete	durum	*Triticum turgidum*[196]
enkornsvete	einkorn	*Triticum monococcum*[196]
getgräs	goatgrasses	*Aegilops sharonensis*[196]
getgräs	goatgrasses	*Aegilops speltoides*[196]
getgräs	goatgrasses	*Aegilops tauschii*[196]
jordgubbe	cultivated strawberry	*Fragaria* x *ananassa*[197]
kaffe	coffee	*Coffea arabica*[198]
kaffe	coffee	*Coffea canephora*[198]
kaffe	coffee	*Coffea eugeniodies*[198]
kassava	cassava	*Manihot esculenta*[199]
korn	barley	*Hordeum vulgare*[200]
loblollytall	loblolly pine	*Pinus taeda*[201]
pomerans	sour orange	*Citrus aurantium*[191]
pompelmus/pomelo	pummelo	*Citrus maxima*[191]
ris	Indian wild rice	*Oryza nivara*[189]
ris	rice	*Oryza barthii*[189]
ris	rice	*Oryza glumaepatula*[189]
ris	rice	*Oryza meridionalis*[189]
ris	rice	*Oryza sativa*[189]
sesam	sesame	*Sesamum indicum*[202]
smultron	strawberry	*Fragaria iinumae*[197]
smultron	strawberry	*Fragaria nipponica*[197]
smultron	strawberry	*Fragaria nubicola*[197]
smultron	strawberry	*Fragaria orientalis*[197]
småcitrus	clementine mandarin	*Citrus clementina*[191]
småcitrus	mandarin	*Citrus reticulata*[191]
småcitrus	willowleaf mandarin	*Citrus deliciosa*[191]
spanskpeppar	pepper	*Capsicum annuum*[203]
spanskpeppar	pepper	*Capsicum chinense*[203]
spanskpeppar	pepper	*Capsicum eximium*[203]
stor andmat	greater duckweed	*Spirodela polyrhiza*[204]
ticka	-	*Phlebiopsis gigantea*[205]
tomat	tomato	*Solanum arcanum*[206]
tomat	tomato	*Solanum habrochaites*[206]
tomat	tomato	*Solanum lycopersicum*[206]
tomat	tomato	*Solanum pennellii*[206]
vete	bread wheat	*Triticum aestivum*[196]
-	coffee rust	*Hemileia vastatrix*[207]
-	-	*Schrenkiella parvula*[208]
-	-	*Triticum urartu*[196]

8 Ordlista

A, B, C

Aminosyror Byggstenarna i proteiner.

Antibiotika Samlingsbegrepp för de läkemedel som används för att behandla infektioner orsakade av bakterier.

Antikropp Proteiner som används av kroppens immunförsvar för att upptäcka och identifiera till exempel virus och bakterier. Antikroppar spelar en viktig roll i immunförsvaret hos människor och djur.

Arvsmassa En organisms arvsmassa är den totala mängden DNA i en cell. Ett annat namn är genom.

Bacillus thuringiensis En jordbakterie som bildar cry-proteiner som är giftiga för vissa insektsarter. Preparat av bakterien används för att bekämpa myggor och skadeinsekter i lantbruket.

Backtrav Det svenska namnet på *Arabidopsis thaliana*, en modellväxt inom växtbiologin.

Baspar DNA-spiralen är en dubbelsträngad molekyl. De två strängarna binds samman via kvävebaserna. Kvävebasen adenin (A) binder alltid till kvävebasen tymin (T) och bildar basparet A-T. Kvävebasen guanin (G) binder till kvävebasen cytosin (C) och de bildar basparet G-C.

Betaceller En celltyp som finns i bukspottskörteln och producerar insulin.

Bioinformatik Ett tvärvetenskapligt ämne där datavetenskap och matematik möter biologin. Datavetenskapen och matematiken har gjort det möjligt att genomföra storskaliga analyser och modellering av biologisk data.

Bt-gröda En gröda som genmodifierats med en eller flera cry-gener från jordbakterien *Bacillus thuringiensis*. Grödan blir då resistent mot angrepp från vissa insektsarter.

CRISPR/Cas9 En teknik som bland annat kan användas för att skapa riktade mutationer i arvsmassan. Förkortningen CRISPR står för *Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats*.

Cry-gener Översätts till cry-proteiner som är giftiga för vissa insektsarter. Olika cry-gener har använts för att, med hjälp av genmodifiering, ta fram insektsresistenta grödor. Generna är isolerade från jordbakterien *Bacillus thuringiensis* och grödorna kallas Bt-grödor.

D, E, F

Denisova-människor Arkaiska människor som levde för ungefär 41 000 år sedan. Kvarlevor av en individ upptäcktes i Denisovagrottan i Sibirien.

Domesticerad De förändringar en vild djur- eller växtart genomgår när den via mänsklig påverkan blir mer eller mindre beroende av människan. Husdjur och odlade grödor är domesticerade.

Dopamin En signalsubstanserna i det centrala nervsystemet.

EFSA Den Europeiska livsmedelssäkerhetsmyndigheten (*European Food Safety Authority*).

E. coli	En vanligt förekommande bakterie som bland annat finns i människors och djurs tarmflora. Speciella varianter av bakterien kan orsaka magsjuka respektive urinvägsinfektion. Används flitigt inom molekylärbiologin.
Embryo	Ett tidigt stadium i ett djurs eller en växts utveckling.
Embryonal stamcell	Stamceller som isoleras från tidiga, outvecklade humana embryon.
Enzymer	Proteiner som utför (katalyserar) kemiska reaktion.
Fertil	Förmågan till fortplantning.
Fosfat	En molekyl som består av grundämnena fosfor (P) och syre (O_2).
Fältförsök	Försök med grödor eller andra levande organismer i miljön.

G, H, I

Gen	En bit av arvsmassan. Ofta beskriver en gen ett protein, men det finns också gener som ger upphov till RNA som inte översätts till proteiner.
Genetik	Ärftlighetslära.
Genetiskt modifierad	Vid genmodifiering ändras arvsanlagen, till exempel kan en ny gen sättas in eller en befintlig gen kan stängs av.
Genom	En organisms genom är dess totala mängd av genetiskt material. Samma sak som arvsmassa.
Genomik	Ett forskningsområde där struktur och funktion av en organisms hela genom (arvsmassa) studeras.
Glyfosat	Den verksamma beståndsdelen i vissa ogräsbekämpningsmedel, till exempel Roundup, Envision och Rambo Bio Spray. Glyfosat stör produktionen av vissa aminosyror, vilket leder till att växten dör.
GM-gröda	Förkortning av genetiskt modifierad gröda.
GMO	Förkortning av genetiskt modifierad organism. Vanligtvis använt om en levande organism som tillförts en eller flera nya DNA-sekvenser. I GMO-lagstiftningen är även en organism som modifierats med hjälp av mutationsframkallande ämnen en GMO, men den undantas lagstiftningen.
Hemoglobin	Ett protein som finns i röda blodkroppar hos människan och många djur. Hemoglobinet transporterar syre i blodet.
Herbicid	Ogräsbekämpningsmedel.
Herbicidtolerant gröda	En gröda som tål ogräsbekämpningsmedel. Herbicidtoleranta grödor kan tas fram med hjälp av genmodifiering eller konventionell växtförädling.
Icke-målorganism	Andra organismer än dem man vill bekämpa. Icke-målorganismer kallas *non-target organism* på engelska.
Immunförsvar	Djur och människor har ett system för att skydda sig mot till exempel virus och bakterier som kallas immunsystemet. Det bygger på att kroppen, med hjälp av antikroppar känner igen ett främmande protein (antigen) och oskadliggör det.
Individanpassad behandling	Anpassning av val av läkemedel eller behandlingsmetod efter en individs genetiska profil.
Inducerade pluripotenta stamceller	Stamceller som framställs genom att redan specialiserade celler omprogrammeras. Omprogrammeringen sker med hjälp av fyra gener.

J, K, L

Klinisk prövning	En undersökning på människor för att studera hur effektivt och säkert till exempel ett läkemedel är.
Kloroplast och kloroplast-DNA	Avgränsade utrymmen (organeller) i växter, alger och cyanobakterier. I kloroplasten sker fotosyntesen. Kloroplast-DNA är den arvsmassa som finns i kloroplasterna
Kontrollgrupp	En grupp som ingår som jämförelse i en vetenskaplig studie.

M, N, O

Metagenomik	Sekvensbestämning och analys av arvsmassan hos all organismer i en viss miljö.
Mikrobiom	Ordet mikrobiom används för att beskriva alla mikroorganismer eller den sammanlagda arvsmassan av alla mikroorganismer i en viss miljö
Mikroorganism	Små organismer som vanligen består av en enda cell. Till mikroorganismerna räknas bakterier, arkéer, encelliga djur som amöbor och ciliater och encelliga alger. Svampar räknas som mikroorganismer så länge de lever som enstaka celler eller som trådar av celler, som i mögel. Mikroorganismer kallas också mikrober.
Mitokondrier och mitokondrie-DNA	En typ av organeller som bland annat producerar energi i till exempel växt- och djurceller. Mitokondrie-DNA är den arvsmassa som finns i mitokondrierna.
mRNA	Står för *messenger-RNA*. En kopia av en gen som används av cellmaskineriet när ett protein ska bildas. Kalls också budbärar-RNA.
Mutation	Genetisk förändring.
Neandertalare	Neandertalare (*Homo neanderthalensis*) är en förhistorisk människa som levde i Europa och de västra delarna av Asien. De levde för ca 350 000 år fram till för ca 30 000 år sedan. Döpt efter Neandertal i Tyskland där man hittade det första fossilet.
Nukleotider	Byggstenarna i DNA och RNA.
Organism	En organism är en levande varelse med en egen ämnesomsättning, till exempel en växt, ett djur eller en bakterie.
Organoid	Ett mini-organ som kan odlas fram från stamceller för studera vävnadens funktion eller utvärdera läkemedel.
Organspecifika celler	Celler som bara förekommer i ett specifikt organ.

P, Q, R

Patogen	Något som framkallar sjukdom.
Promotor	En styrsekvens som har betydelse för om och hur mycket en gen ska användas. Sitter precis före det område som kommer att ge upphov till ett RNA. Detta sker genom att till exempel olika proteiner binder till promotorn och startar, stänger av, gasar eller bromsar processen.
Proteiner	Molekyler som består av aminosyror och beskrivs av arvsmassan. Proteiner har många olika funktioner i organismer, till exempel transporterar de molekyler, utför kemiska processer och bygger upp membran.
***Rapid Trait Development System* (RTDS)**	En teknik som utvecklats av företaget *Cibus* och som används för att skapa enstaka mutationer på en på förhand bestämd plats i arvsmassan.
Resistens	Motståndskraft. När en organism sägs vara resistent mot något så är den motståndskraftig eller okänslig mot till exempel gifter, sjukdomar eller antibiotika.
RNA	Förkortning av ribonukleinsyra (ursprungligen från engelskans *ribonucleic acid*). Den molekyl som bland annat fungerar som en budbärare mellan generna och de proteiner som generna kodar för.

S, T, U

Sekvensbestämning	Vid sekvensbestämning tar man reda på vilka nukleotider som finns i en DNA- eller RNA-molekyl och i vilken ordning de sitter. Det går också att sekvensbestämma ett protein. Ibland används även ordet sekvensering.
Stamceller	Ospecialiserade celler som har förmågan att utvecklas till alla olika celltyper som finns i en organism. De kan genomgå ett obegränsat antal celldelningar.
Symbios	En form av samlevnad mellan två olika arter. Oftast menar man att det ska vara mer gynnsamt för de två arterna att leva tillsammans än att var för sig. Det finns en skala från att båda arterna gynnas i hög grad till att en eller båda arter har en liten eller ingen positiv effekt av att leva i symbios. Om den ena arten drar nytta av samlevnaden och den andra missgynnas kallas det parasitism.
TALEN	Metod för att introducera riktade förändringar i arvsmassan.
T-celler	En typ av vita blodceller som spelar en viktig roll i immunförsvaret.

V, W, X, Y

Vaccin	Ett ämne som liknar ett smittämne (till exempel virus) och som sprutas in i kroppen. Genom att immunförsvaret reagerar mot vaccinet kan man bli immun mot smittämnet.
Virus	De minsta biologiska enheterna som kan infektera levande organismer. Virus förökar sig genom att med värdens hjälp tillverka fler viruspartiklar. Arvsmassan kan bestå av DNA eller RNA.
Y-kromosom	Den ena av de två könskromosomerna hos hanar av däggdjur och groddjur.

Z, Å, Ä, Ö

Zink-finger nukleas (ZFN)	Metod för att introducera riktade förändringar i arvsmassan.

9 Referenser

De allra flesta referenser kommer från vetenskapliga tidskrifter. En del av dessa referenser är fritt tillgängliga (så kallade *open access* artiklar) andra måste man prenumerera på eller köpa på annat sätt. Om man har tillgång till ett universitetsbibliotek så bör de flesta referenser vara tillgängliga gratis.

[1] Human Microbiome Project http://commonfund.nih.gov/hmp/index (nedladdad 2015-02-19)
[2] Earth Microbiome Project http://www.earthmicrobiome.org/ (nedladdad 2015-02-19)
[3] Hospital Microbiome Project http://hospitalmicrobiome.com/ (nedladdad 2015-02-19)
[4] Home Microbiome Study http://homemicrobiome.com/ (nedladdad 2015-02-19)
[5] Seagrass Microbiome Project http://seagrassmicrobiome.org/ (nedladdad 2015-02-19)
[6] Alcock *et al*, *BioEssays*, 36:940 (2014)
[7] Goodrich *et al*, *Cell*, 159:789 (2014)
[8] Donia *et al*, *Cell*, 158:1402 (2014); Hayden, *Nature News*, http://www.nature.com/news/vaginal-microbe-yields-novel-antibiotic-1.15900 (nedladdad 2015-02-19)
[9] Lax *et al*, *Science*, 345:1048 (2014)
[10] Schnorr *et al*, *Nature Communications*, 5:3654 (2014)
[11] Dupont *et al*, *PloS ONE*, 9:e89549, doi:10.1371/journal.pone.0089549 (2014)
[12] Kembela *et al*, *PNAS*, 111:13715 (2014)
[13] Hacquard & Schadt, *New Phytologist*, 205:1424 (2014)
[14] Smith & Read, *Mycorrhizal symbiosis*. Cambridge UK: Academic Press (2008); Wang & Qiu, *Mycorrhiza*, 16:299 (2006)
[15] Wagner *et al*, *Ecology Letters*, 17:717 (2014)
[16] Aagaard *et al*, *Science Translational Medicine*, 6:237ra65 (2014)
[17] Powledge, http://geneticliteracyproject.org/2014/05/27/new-york-times-science-stumble-in-overstated-reports-on-microbiome-research/ (nedladdad 2015-02-19)
[18] Reid & Greene, http://academy.asm.org/images/stories/documents/FAQ_Human_Microbiome.pdf (nedladdad 2015-02-19)
[19] Salter *et al*, *BMC Biology*, 12:87 (2014)
[20] Kotula *et al*, *PNAS*, 111:4838 (2014); Kåhrström, *Nature Reviews Microbiology*, 12:314 (2014)
[21] Annaluru *et al*, *Science*, 344:55 (2014); Pennisi, *Science*, 343:1426 (2014)
[22] Campisano *et al*, *Molecular Biology and Evolution*, 31:1059 (2014)
[23] Chung *et al*, *PNAS*, 111:8931 (2014)
[24] Malyshev *et al*, *Nature*, 509:385 (2014)
[25] Tedersoo *et al*, *Science*, 346:1256688 (2014); Wardle & Lindahl, *Science*, 346:1052 (2014)
[26] Chen *et al*, *Cell*, 158:1187 (2014); Swart *et al*, *PLoS Biology*, 11:e10011473, doi:10.1371/journal.pbio.1001473 (2014)
[27] Jarvis *et al*, *Science*, 346 :1320 (2014); Pennisi, *Science*, 346:1275 (2014); Pfennig *et al*, *Science*, 346:1256846 (2014); Whitney *et al*, *Science*, 346:1256780 (2014); Zhang *et al*, *Science*, 346:1308 (2014); Zhou *et al*, *Science*, 346:1246338 (2014)
[28] Raghavan *et al*, *Science*, 345:1016 (2014)
[29] Seguin-Orlando, *Science*, 346:1113 (2014))
[30] Pääbo, *Cell*, 157:216 (2014)
[31] Olalde *et al*, *Nature*, 507:225 (2014)
[32] Fu *et al*, *Nature*, 513:445 (2014)
[33] Birney & Pritchard, *Nature*, 505:33 (2014); Prüfer *et al*, *Nature*, 505:43 (2014)
[34] Skoglund *et al*, *PNAS*, 1111:2229 (2014)
[35] Lisch, *Nature Reviews Genetics*, 14:49 (2013)
[36] El Baidouri *et al*, *Genome Research*, 24:831 (2014)
[37] Li *et al*, *PNAS*, 111:6672 (2014)
[38] Fuentes *et al*, *Nature*, 511:232 (2014)
[39] Alphey, *Annual Review of Entomology*, 59:205 (2014); Wang & Jacobs-Lorena, *Trends in Biotechnology*, 31:185 (2013)
[40] Harris *et al*, *Nature Biotechnology*, 30:828 (2012); Lacroix *et al*, *PLoS ONE*, 7:e42771, doi:10.1371/journal.pone.0042771 (2012); Mendes, *Nature News*, http://www.nature.com/news/brazil-tests-gm-mosquitoes-to-fight-dengue-1.10426 (nedladdad 2015-02-19)
[41] *Oxitec Newsletter* 3 juli 2014 (http://www.oxitec.com/oxitec-newsletter-july-2014/ - nedladdad 2015-01-13)

[42] *Oxitec*, pressmeddelande, 30 maj 2014 (http://www.oxitec.com/panama-trial-begins/ - nedladdad 2015-01-13); *Oxitec Newsletter* 3 juli 2014 (http://www.oxitec.com/oxitec-newsletter-july-2014/ - nedladdad 2015-01-13); *Oxitec*, pressmeddelande, 30 juli 2014 (http://www.oxitec.com/press-release-oxitec-do-brasil-opens-its-first-mosquito-production-unit-to-fight-the-dengue-vector-aedes-aegypti/ - nedladdad 2015-01-13)
[43] McBride *et al*, *Nature*, 515:222 (2014)
[44] Mikolajczak *et al*, *Molecular Therapy*, 22:1707 (2014); *Word Malaria Report* 2014 (http://www.who.int/malaria/publications/world_malaria_report_2014/en/ - nedladdad 2015-01-13)
[45] Gardner *et al*, *Nature*, 419:498 (2002)
[46] Ghorbal *et al*, *Nature Biotechnology*, 32:819 (2014); Wagner *et al*, *Nature Methods*, 11:915 (2014)
[47] Fontaine *et al*, *Science*, 347:1258524 (2015); Neafsey *et al*, *Science*, 347:1258522 (2015)
[48] *Cultured Beef* (http://culturedbeef.net/ - nedladdad 2015-01-13); Churchill, *The Strand Magazine* (December 1931; http://teachingamericanhistory.org/library/document/fifty-years-hence/ - nedladdad 2015-01-13); *Modern Meadow* (http://modernmeadow.com/ - nedladdad 2015-01-13); *Muufri* (http://www.muufri.com/ - nedladdad 2015-01-13); van der Weele & Tramper, *Trends in Biotechnology*, 32:294 (2014)
[49] Baranowska Körberg, I. (2011). *Mapping trait genes in dogs – using the dog as a model organism.* Acta Universitatis Agriculturae Sueciae 2011:69
[50] Kluth, & Distel, *PLoS One*, 8:e80642, doi: 10.1371/journal.pone.0080642 (2013)
[51] Baranowska Körberg *et al*, *PLoS ONE*, 9:e104363, doi:10.1371/journal.pone.0104363 (2014)
[52] *World Health Organization*, *Ebola Response Roadmap Situation Report*, 31 december 2014, (http://apps.who.int/ebola/en/status-outbreak/situation-reports/ebola-situation-report-31-december-2014 - nedladdad 2015-02-19)
[53] Almudena *et al*, *EMBO Molecular Medicine*, 7:17 (2015)
[54] Gire *et al*, *Science*, 345:1369 (2014); Vogel, *Science*, 345:989 (2014)
[55] Geisbert, *Nature*, 514:41 (2014); Qui *et al*, *Nature*, 514:47 (2014)
[56] Läkare utan gränser, pressmeddelande 5 januari 2015
[57] Ledgerwood *et al*, *The New England Journal of Medicine*, doi:10.1056/NEJMoa1410863 (2014); Pressmeddelande *National Institutes of Health* 28 augusti 2014 (http://www.niaid.nih.gov/news/newsreleases/2014/Pages/EbolaVaxCandidate.aspx - nedladdad 2015-02-19); Pressmeddelande *National Institutes of Health* 15 december 2014 (http://www.nih.gov/researchmatters/december2014/12152014ebola.htm - nedladdad 2015-02-19)
[58] Warfield *et al*, *PNAS*, 111:8873 (2014)
[59] Butler, *Nature News*, http://www.nature.com/news/first-trials-of-blood-based-ebola-therapy-kick-off-1.16564 (nedladdad 2015-02-19)
[60] Pressmeddelande *SciLifeLab* 17 november 2014 (https://www.scilifelab.se/news/announcement-of-national-sequencing-projects-that-will-receive-scilifelab-funding/ - nedladdad 2015-02-19)
[61] Dumanski *et al*, *Science*, 347:81 (2014); Forsberg *et al*, *Nature Genetics*, 46:624 (2014)
[62] Murchison *et al*, *Science*, 343:437 (2014); Parker & Ostrander, *Science*, 343:376 (2014); TVT – transmissible venereal tumour http://www.sva.se/sv/Djurhalsa1/Hund/Infektionssjukdomar/TVT--transmissible-venereal-tumour/ (nedladdad 2015-10-02)
[63] Schleiermacher *et al*, *Journal of Clinical Oncology*, 32:2727 (2014)
[64] Gaugler *et al*, *Nature Genetics*, 46:881 (2014) ; Reardon, *Nature*, 511:393 (2014) ; Ripke *et al*, *Nature*, 511:421 (2014)
[65] Arnedo *et al*, *The American Journal of Psychiatry*, 172:139 (2015)
[66] Mandal *et al*, *Cell Stem Cell*, 15:643 (2014)
[67] Yin *et al*, *Nature Biotechnology*, 32:551 (2014)
[68] Niu *et al*, *Cell*, 156:836 (2014)
[69] Pagliuca *et al*, *Cell*, 159:2 (2014); Rezania *et al*, *Nature Biotechnology*, 32:11 (2014)
[70] Muratore *et al*, *Human Molecular Genetics*, 23:3523 (2014)
[71] Fischer, *Nature*, 510:226 (2014); Genoveses *et al*, Nature, 510:235 (2014)
[72] Su *et al*, *Nature Communications*, 5:3338 (2014)
[73] Sjöqvist *et al*, *Nature Communications*, 5:3562 (2014)
[74] Mittra *et al*, *New Biotechnology*, 32:180 (2015); Pressmeddelande *Wellcome Trust*, 14 april 2014 (http://www.wellcome.ac.uk/News/Media-office/Press-releases/2014/WTP056257.htm - nedladdad 2015-02-20)
[75] ISAAA http://www.isaaa.org (nedladdad 2015-02-20)
[76] Gemensamma sortlistan över arter av lantbruksväxter, 33:e fullständiga upplagan (2014/C 450/01)
[77] ISAAA Brief 49-2014: Executive Summary, http://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/49/executivesummary/default.asp (nedladdad 2015-02-10); James, C. (2014). *Global status of commercialized biotech/GM crops: 2014. ISAAA Brief No. 49*. Ithaca, New York, USA: ISAAA
[78] Truter *et al*, *Environmental Entomology*, 43:197 (2014)
[79] Tian *et al*, *Environmental Entomology*, 43:242 (2014)
[80] Gautam *et al*, *Journal of Economic Entomology*, 107:115 (2014)
[81] Kumar *et al*, *Journal of Economic Entomology*, 107:927 (2014)

[82] Tabashnik *et al*, *PNAS*, 91:4120-4124 (1994)
[83] Liu *et al*, *PLoS ONE*, 9:e90366 (2014)
[84] Jin *et al*, *Nature Biotechnology*, 33:169 (2014)
[85] *Scientific background report Phytophthora-resistant potatoes*, *Vlaams Instituut voor Biotechnologie* (http://www.vib.be – nedladdad 2015-02-20)
[86] *GMO Compass*, *GMO database* (http://www.gmo-compass.org/eng/gmo/db/178.docu.html - nedladdad 2015-02-20)
[87] Jones *et al*, *Philosophical Transactions of the Royal Society Biology*, 369, 369:20130087 (2014)
[88] Jo *et al*, *BMC Biotechnology*, 14:50 (2014)
[89] *The J. R. Simplot Company* (http://www.simplot.com/ - nedladdad 2015-01-13)
[90] Tripathi *et al*, *Nature Biotechnology*, 32:868 (2014)
[91] Van Eenennaam & Young, *Journal of Animal Science*, 92:4255 (2014)
[92] Gentekniknämnden. (2013). *Genteknikens utveckling 2012*. sidan 42 (http://www.genteknik.se/Uploads/Files/2012_genteknikens_utveckl.pdf - nedladdad 2015-02-19); Gentekniknämnden. (2014). *Genteknikens utveckling 2013*. sidan 65 (http://www.genteknik.se/Uploads/Files/2013_genteknikens_utveckling.pdf - nedladdad 2015-02-19)
[93] (EU) nr 503/2013 om ansökningar om godkännande av genetiskt modifierade livsmedel och foder i enlighet med förordning (EG) nr 1829/2003; GRACE-projektet (http://www.grace-fp7.eu/home - nedladdat 2015-01-13); G-TwYSY (http://www.g-twyst.eu/ - nedladdat 2015-01-13); Zeljenková *et al*, *Archives of Toxicology*, 88:2289 (2014)
[94] Waltz, *Nature Biotechnology*, 32:857 (2014)
[95] Lin *et al*, *Nature*, 513:547 (2014)
[96] http://linnaeus.nrm.se/flora/di/brassica/brass/welcome.html (nedladdat 2014-01-07)
[97] http://linnaeus.nrm.se/flora/di/brassica/brass/brasrap.html (nedladdat 2014-01-07)
[98] http://linnaeus.nrm.se/flora/di/brassica/brass/brasole.html (nedladdat 2014-12-08)
[99] Cai *et al*, *PLoS One*, 9:e109910 (2014); Chalhoub *et al*, *Science*, 345:950 (2014); Prakash & Hinata, *Opera Botanica*, 55:46 (1980)
[100] http://linnaeus.nrm.se/flora/di/brassica/brass/brasnap.html (nedladdat 2014-12-08)
[101] Sökningar gjorda 2014-12-08 på Web of Science (Thomson Reuters, 228 träffar), ScienceDirect (http://www.sciencedirect.com/, 576 träffar), PubMed (http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed, 144 träffar) och Google scholar (http://scholar.google.se/, 5040 träffar), med sökorden “genome” “brassica” under 2014.
[102] Xiao *et al*, *Plant Physiology*, 164:1309 (2014)
[103] Dechaine *et al*, *New Phytologist*, 201:657 (2014)
[104] Liu *et al*, *Nature Communications*, 5:3930 (2014)
[105] Chalhoub *et al*, *Science*, 345:950 (2014)
[106] The *Brassica rapa* Genome Sequencing Project Consortium, *Nature Gentics*, 43:1035 (2011)
[107] Cai *et al*, *PLoS One*, 9:e109910 (2014); Liu *et al*, *Nature Communications*, 5:3930 (2014)
[108] Nedladdat 2015-01-08 från http://www.ncbi.nlm.nih.gov/genome/browse/, under fliken Eukaryotes [1836] och Groups Plants. Totalt 203 stycken rader det vill säga totalt 203 olika prover. Det motsvarade åtminstone 146 olika växtarter. Notera att inte alla sekvenserade arter fanns med, till exempel saknades *Picea abies*.
[109] Bolger *et al*, *Current Opinion in Biotechnology*, 26:31 (2014); Varshney *et al*, *PLoS Biology* 12:e1001883 (2014)
[110] Några exempel på populationer som används inom växtförädling finns i kapitlet *Växtförädling* s 32-47 i Lehrman, A. (red) (2014) *Framtidens mat - om husdjursavel och växtförädling*, Uppsala, SLU (http://www.slu.se/Documents/externwebben/centrumbildningar-projekt/Mistra%20Biotech%20-%20dokument/publikationer/FramtidensMat_MistraBiotech_Web_140619.pdf - nedladdad 2015-02-19)
[111] Bolger *et al*, *Current Opinion in Biotechnology*, 26:31 (2014); Varshney *et al*, *PLOS Biology*, 12:e1001883 (2014)
[112] Smith & Lee, *Plant Physiology*, 164:1812 (2014)
[113] Molina *et al*, *Molecular Biology and Evolution*, 31:793 (2014)
[114] Newhouse *et al*, *Plant Science*, 228:88 (2014)
[115] Hoenicka *et al*, *Plant Biotechnology Journal*, 12:1066 (2014)
[116] Hopkins. (1995) *Introduction to plant physiology*. Johan Wiley & Sons, Inc; *Plant cell and tissue culture phytopathology biochemical, Catalogue 2010 – 2012*. Duchefa Biochemie B.V.; Taiz & Zeiger. (2006) *Plant physiology*, fourth edition. Sinauer Associates, Inc.
[117] Taiz & Zeiger. (2006) *Plant physiology*, fourth edition. Sinauer Associates, Inc.
[118] Ramaiah *et al*, *Plant Physiology*, 164:1484 (2014)
[119] Ghorbal *et al*, *Nature Biotechnology*, 32:819 (2014); Wagner *et al*, *Nature Methods*, 11:915 (2014)
[120] Kumar *et al*, *G3: Genes, Genomes, Genetics*, 3:2233 (2013); Shan *et al*, *Nature Protocols*, 9:2395 (2014); Wang *et al*, *Nature Biotechnology*, 32:947 (2014)
[121] Shan *et al*, *Nature Protocols*, 9:2395 (2014); Xu *et al*, *Rice*, 7:5, doi:10.1186/s12284-014-0005-6 (2014); Zhang *et al*, *Plant Biotechnology Journal*, 12:797 (2014)

[122] Jiang *et al*, *PLoS ONE*, 9:e99225 (2014)
[123] Liang *et al*, *Journal of Genetics and Genomics*, 41:63 (2014)
[124] Jia & Wang, *PLoS ONE*, 9:e93806 (2014)
[125] APHIS (http://www.aphis.usda.gov – nedladdad 2015-01-13); Camacho *et al*, *Nature Biotechnology*, 32:1087 (2014);
[126] *Cibus Global*, pressmeddelande 18 mars 2014 (http://cibus.com/press/press031814.php - 2015-01-13)
[127] Wang *et al*, *Nature Biotechnology*, 32:947 (2014)
[128] Haun *et al*, *Plant Biotechnology Journal*, 12:934 (2014)
[129] Ding *et al*, *Nature Communications*, 5:3353, doi:10.1038/ncomms4353 (2014)
[130] University of Arkansas, *Arkansas releases first Roundup Ready soybean*, 3 december 2014 (http://arkansasagnews.uark.edu/8273.htm - nedladdat 2015-01-14)
[131] United States Department of Agriculture, Federal Register/Vol. 79, No. 217 / Monday, November 10, 2014; EFSA News 1 July 2014; Animal and Plant Health Inspection Services (http://www.aphis.usda.gov/biotechnology/petitions_table_pending.shtml - nedladdad 2015-02-20)
[132] Pressmeddelande, Europaparlamentet 2014-12-04, http://www.europarl.europa.eu/pdfs/news/expert/infopress/20141204IPR82835/20141204IPR82835_en.pdf
[133] Li *et al*, *GigaScience*, 3:8 (2014); The 3 000 rice genomes project, *GigaScience*, 3:7 (2014); Wang *et al*, *Nature Genetics*, 46:982 (2014); Zhang *et al*, *PNAS*, 111:E4954
[134] Liu et al, Cell, 157:785 (2014)
[135] Akpinar *et al*, *Plant Biotechnology Journal*, doi: 10.1111/pbi.12302 (2014); Choulet *et al*, *Science*, 345:1249721 (2014); Eversole *et al*, *Science*, 345:285 (2014); Gardiner *et al*, *Plant Journal*, 80:895 (2014); Gornicki *et al*, *New Phytologist*, 204:704 (2014); Marcussen *et al*, *Science*, 345:1250092 (2014); Pfeifer *et al*, *Science*, 345:1250091 (2014); Poursarebani *et al*, *Plant Journal*, 79:334 (2014); Ramirez-Gonzalez *et al*, *Plant Biotechnology Journal*, doi: 10.1111/pbi.12281 (2014); The International Wheat Genome Sequencing Consortium, *Science*, 345:1251788 (2014); Yang *et al*, *Plant Omics Journal*, 7:291 (2014); Zhang *et al*, *Plant Cell*, 26: 2761 (2014)
[136] Jónsson *et al*, *PNAS*, 111:18655 (2014); Schbert *et al*, *PNAS*, 111:E5661 (2014)
[137] Gallant *et al*, *Science*, 344:1522 (2014)
[138] Qin *et al*, *PNAS*, 111:5135 (2014)
[139] Li *et al*, *GigaScience*, 3:8 (2014); The 3 000 rice genomes project, *GigaScience*, 3:7 (2014); Wang *et al*, *Nature Genetics*, 46:982 (2014); Zhang *et al*, *PNAS* 111:E4954
[140] Bolger *et al*, *Nature Genetics*, 46:1034 (2014); The 100 Tomato Genome Sequencing Consortium, *Plant Journal*, 80:136 (2014)
[141] Qin *et al*, *PNAS*, 111:5135 (2014)
[142] Zhan *et al*, *Nature*, 514:317 (2014)
[143] Alencar *et al*, *Genome Announcements*, 2:e1190 (2014)
[144] Murchinson *et al*, *Science*, 343:437 (2014); Parker & Ostrander, *Science*, 343:376 (2014)
[145] Gire *et al*, *Science*, 345:1369 (2014)
[146] Sasaki *et al*, *Journal of Virology*, 88:9819 (2014)
[147] Doutre *et al*, *Journal of Virology*, 88:14340 (2014)
[148] Fontaine *et al*, *Science*, 347:1258524 (2015); Neafsey *et al*, *Science*, 347:1258522 (2015)
[149] Zhang *et al*, *Science*, 346:1308 (2014); http://www.sciencemag.org/content/346/6215/1308.full (nedladdad 2015-01-19); http://www.sciencemag.org/content/346/6215/1308/suppl/DC1 (nedladdad 2015-01-19); http://avian.genomics.cn/en/ (nedladdad 2015-01-19)
[150] Misof *et al*, *Science*, 346:763 (2014)
[151] Daetwyler *et al*, *Nature Genetics*, 46:858 (2014)
[152] Jónsson *et al*, *PNAS*, 111:18655 (2014); Schbert *et al*, *PNAS*, 111:E5661 (2014)
[153] Green *et al*, *Science*, 346:1254449 (2014); Zhang *et al*, *Science*, 346:1308 (2014); http://www.sciencemag.org/content/346/6215/1308.full (nedladdad 2015-01-19); http://www.sciencemag.org/content/346/6215/1308/suppl/DC1 (nedladdad 2015-01-19); http://avian.genomics.cn/en/ (nedladdad 2015-01-19)
[154] Wu *et al*, *Nature Communications*, 5:5188 (2014)
[155] Araya *et al*, *Nature*, 512:400 (2014); Boyle *et al*, *Nature*, 512:453 (2014); Brown, *et al*, *Nature*, 512:393 (2014); Gerstein *et al*, *Nature*, 512:445 (2014); Ho *et al*, *Nature*, 512:449 (2014); Muerdter & Stark, *Nature*, 512:374 (2014)
[156] Freedman *et al*, *PLoS Genetics*, 10:e1004016, doi:10.1371/journal.pgen.1004016 (2014)
[157] Venkatesh *et al*, *Nature*, 505:174 (2014)
[158] Liu *et al*, *Cell*, 157:785 (2014)
[159] Brawand *et al*, *Nature*, 513:375 (2014)
[160] Gallant *et al*, *Science*, 344:1522 (2014)
[161] Sanggaard *et al*, *Nature Communications*, 5:3765 (2014)
[162] Jiang *et al*, *Science*, 344:1168 (2014)

[163] Zhou *et al*, *Nature Genetics*, 46:1303 (2014)
[164] Poelstra *et al*, *Science*, 344:1410 (2014)
[165] Tang *et al*, *Nature Genetics*, 46:261 (2014)
[166] Wallberg *et al*, *Nature Genetics*, 46:1081 (2014)
[167] Scott *et al*, *Genome Biology*, 15:466, doi:10.1186/s13059-014-0466-3 (2014)
[168] Carneiro *et al*, *PLoS Genetics*, 10:e1003519, doi:10.1371/journal.pgen.1003519 (2014); Carneiro *et al*, *Science*, 345:1074 (2014)
[169] Xu *et al*, *Nature Genetics*, 46:1212 (2014)
[170] Tamazian *et al*, *GigaScience*, 3:13 (2014)
[171] Doyle *et al*, *PLoS ONE*, 9:e95599, doi:10.1371/journal.pone.0095599 (2014)
[172] Carbone *et al*, *Nature*, 513:195 (2014)
[173] Wang *et al*, *Nature Communications*, 5:2957 (2014)
[174] Zhan *et al*, *Nature*, 514:317 (2014)
[175] Oxley *et al*, *Current Biology*, 24:451 (2014)
[176] Bower, *Science News*, https://www.sciencenews.org/article/oldest-human-dna-narrows-time-neandertal-hookups (nedladdad 2015-01-22); Carmi *et al*, *Nature Communications*, 5:4835 (2014); Fu *et al*, *Nature*, 513:445 (2014); Gierman *et al*, *PLoS ONE*, 9:e11230, doi:10.1371/journal.pone.0112430 (2014); King *et al*, *Nature Communications*, 5:5631 (2014); Olade *et al*, *Nature*, 507:225 (2014); Saey, *Science News*, https://www.sciencenews.org/article/year-review-old-humans-reveal-secrets (nedladdad 2015-01-22); The Genome of the Netherlands Consortium, *Nature Genetics*, 46:818 (2014)
[177] Briney & Pritchard, *Nature*, 505:33 (2014); Prüfer *et al*, *Nature*, 55:43 (2014); Skoglund *et al*, *PNAS*, 1111:229 (2014)
[178] Wang *et al*, *BMC Genomics*, 15:180 (2014)
[179] Jex *et al*, *Nature Genetics*, 46:701 (2014)
[180] Foth *et al*, *Nature Genetics*, 46:693 (2014)
[181] Chen *et al*, *Nature Genetics*, 46:253 (2014)
[182] Young *et al*, *Nature Communications*, 5:4378 (2014)
[183] Berthelot *et al*, *Nature Communications*, 5:3657 (2014)
[184] Sun & Mueller, *Genome Biology and Evolution*, 6:1818 (2014)
[185] You *et al*, *Nature Communications*, 5:5594 (2014)
[186] Peng *et al*, *Nature Biotechnology*, 32:1250 (2014)
[187] Terrapon *et al*, *Nature Biotechnology*, 5:3636 (2014)
[188] The Marmoset Genome Sequencing and Analysis Consortium, *Nature Genetics*, 46:850 (2014)
[189] Li *et al*, *GigaScience*, 3:8 (2014); The 3 000 rice genomes project, *GigaScience*, 3:7 (2014); Wang *et al*, *Nature Genetics*, 46:982 (2014); Zhang *et al*, *PNAS*, 111:E4954
[190] Polashock *et al*, *BMC Plant Biology*, 14:165 (2014)
[191] Fang *et al*, *Tree Genetics & Genomes*, 10:1567 (2014); Wu *et al*, *Nature Biotechnology*, 32:656 (2014)
[192] Li *et al*, *Nature Genetics*, 46:567 (2014)
[193] Xie & Zhang, *Plant Biotechnology Journal*, doi:10.1111/pbi.12295 (2015)
[194] Liu *et al*, *Nature Communications*, 5:5315 (2014)
[195] Gaut, *Nature Genetics*, 46:663 (2014); Schmutz *et al*, *Nature Genetics*, 46:707 (2014)
[196] Akpinar *et al*, *Plant Biotechnology Journal*, doi: 10.1111/pbi.12302 (2014); Choulet *et al*, *Science* 345:1249721 (2014); Eversole *et al*, *Science*, 345:285 (2014); Gardiner *et al*, *Plant Journal*, 80:895 (2014); Gornicki *et al*, *New Phytologist*, 204:704 (2014); Marcussen *et al*, *Science*, 345:1250092 (2014); Pfeifer *et al*, *Science* 345:1250091 (2014); Poursarebani *et al*, *Plant Journal*, 79:334 (2014); Ramirez-Gonzalez *et al*, *Plant Biotechnology Journal*, doi: 10.1111/pbi.12281 (2014); The International Wheat Genome Sequencing Consortium, *Science*, 345:1251788 (2014); Yang *et al*, *Plant Omics Journal*, 7:291 (2014); Zhang *et al*, *Plant Cell*, 26: 2761 (2014)
[197] Hirakawa *et al*, *DNA Research*, 21:169 (2014)
[198] Denoeud *et al*, *Science*, 345:1181 (2014); Lashermes *et al*, *Plant Journal*, 78:674 (2014); Zamir, *Science*, 345:1124 (2014)
[199] Wang *et al*, *Nature Communications*, 5:5110 (2014)
[200] Hackenberg *et al*, *Plant Biotechnology Journal*, 13:2 (2015)
[201] Neale *et al*, *Genome Biology*, 15:R59 (2014); Wegrzyn *et al*, *Genetics*, 196:891 (2014); Zimin *et al*, *Genetics*, 196:875 (2014
[202] Wang *et al*, *Genome Biology*, 15:R39 (2014)
[203] Qin *et al*, *PNAS*, 111:5135 (2014)
[204] Wang *et al*, *Nature Communications*, 5:3311 (2014)
[205] Hori *et al*, *PLoS Genetics*, 10:e1004759, doi:10.1371/journal.pgen.1004759 (2014)
[206] Bolger *et al*, *Nature Genetics*, 46:1034 (2014); The 100 Tomato Genome Sequencing Consortium, *Plant Journal*, 80:136 (2014)
[207] Cristancho *et al*, *Frontiers in Plant Science*, 5:594 (2014); Talhinhas *et al*, *Frontiers in Plant Science*, 5:88 (2014)
[208] Oh *et al*, *Plant Physiology*, 164:2123 (2014)

Bilaga 1

Tabell – bilaga 1. Pågående fältförsök av genmodifierade grödor i Afrika per den 22 oktober 2014 (James, C. (2014). *Global status of commercialized biotech/GM crops: 2014. ISAAA Brief No. 49*. Ithaca, New York, USA: ISAAA).

Land	Grödor	Egenskap	Institutioner/företag
Burkina Faso	Vignaböna	Insektsresistens	*African Agricultural Technology Foundation* *Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation*, Australien *Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles*, Burkina Faso *Purdue University*, USA
Egypten	Durumvete	Salttolerans Svampresistens Torktolerans	*Agricultural Genetic Engineering Research Institute*, Egypten
	Majs	Insektsresistens	
Ghana	Bomull	Herbicidtolerans Insektsresistens	*Savannah Agricultural Research Institute*, Ghana
	Ris	Effektivare kväveanvändning Effektivare vattenanvändning Salttolerans	*African Agricultural Technology Foundation* *Crops Research Institute*, Ghana
	Vignaböna	Insektsresistens	*African Agricultural Technology Foundation* *Savannah Agricultural Research Institute*, Ghana
Kameroon	Bomull	Herbicidtolerans Insektsresistens	*Bayer*
Malawi	Bomull	Insektsresistens	*Bunda University*, Malawi *Monsanto* *National Commission for Science and Technology*, Malawi

Kenya	Bomull	Insektsresistens	*Kenya Agricultural and Livestock Research Organisation* *Monsanto*
	Durra	Mer tillgängligt zink och järn Ökad halt av betakaroten	*Kenya Agricultural and Livestock Research Organisation* *Pioneer Hi-Bred* *Africa Harvest*
	Kassava	Virusresistens	*Donald Danforth Plant Science Center*, USA *International Institute of Tropical Agriculture*, Kenya *Kenya Agricultural and Livestock Research Organisation* *Masinde Muliro University of Science and Technology*, Kenya
		Ökad halt av betakaroten	*Donald Danforth Plant Science Center*, USA *Kenya Agricultural and Livestock Research Organisation*
	Majs	Insektsresistens Torktolerans	*International Maize and Wheat Improvement Center*, Kenya *Kenya Agricultural and Livestock Research Organisation* *African Agricultural Technology Foundation*
	Sötpotatis	Virusresistens	*Donald Danforth Plant Science Center*, USA Kenya Agricultural and Livestock Research Organisation
Sydafrika	Bomull	Herbicidtolerans Insektsresistens	*Bayer*
	Majs	Hansterilitet	*Pioneer*
		Herbicidtolerans Insektsresistens	*Dow AgroScience* *Pioneer*
		Torktolerans	*Monsanto*
	Sojaböna	Förändrad fettsyra-sammansättning Herbicidtolerans	*Pioneer*

Uganda	Banan	Bakterieresistens	*African Agricultural Technology Foundation* *International Institute of Tropical Agriculture*, Uganda *National Agricultural Research Station*, Uganda
		Nematodresistens	*National Agricultural Research Station*, Uganda *University of Leeds*, Storbritannien
		Ökad halt av järn och betakaroten	*National Agricultural Research Station*, Uganda *Queensland University of Technology*, Australien
	Kassava	Virusresistens	*Donald Danforth Plant Science Center*, USA *International Institute of Tropical Agriculture*, Uganda *National Agricultural Research Station*, Uganda
	Majs	Insektsresistens Torktolerans	*African Agricultural Technology Foundation* *International Maize and Wheat Improvement Center*, Uganda *Monsanto* *National Agricultural Research Station*, Uganda
	Ris	Effektivare kväveanvändning Effektivare vattenanvändning Salttolerans	*African Agricultural Technology Foundation* *National Agricultural Research Station*, Uganda *Arcadia Bioscience*, USA
	Sötpotatis	Insektsresistens	*Donald Danforth Plant Science Center*, USA *International Potato Center*, Uganda *National Agricultural Research Station*, Uganda

Nigeria	Durra	Ökade halter av livsviktiga näringsämnen som zink, järn och aminosyran lysin.	*Africa Harvest* *Institute of Agricultural Research*, Nigeria National Biotechnology Development Agency Pioneer Hi-Bred
	Kassava	Ökad halt av betakaroten Virusresistens	*National Root Crops Reserach Institute*, Nigeria
	Ris	Effektivare kväveanvändning Effektivare vattenanvändning Salttolerans	*African Agricultural Technology Foundation* *National Cereals Reserach Institute*, Nigeria
	Vignaböna	Insektsresistens	*African Agricultural Technology Foundation* *National Cereals Reserach Institute*, Nigeria *Research Center*

Bilaga 2

Tidskriftslista. Här listas de tidskrifter (huvudsakligen vetenskapliga tidskrifter), vetenskapliga nyhetsbloggar *etc* där vi hämtat den information som ligger till grunden för *Genteknikens utveckling 2014*.

Annual Review of Entomology
Archives of Toxicology
BioEssays
BMC Biology
BMC Biotechnology
BMC Genomics
BMC Plant Biology
Cell
Cell Stem Cell
Current Biology
Current Opinion in Biotechnology
DNA Research
Ecology Letters
EMBO Molecular Medicine
Environmental Entomology
Frontiers in Plant Science
G3: Genes, Genomes, Genetics
Genetics
Genome Announcements
Genome Biology
Genome Biology and Evolution
Genome Research
GigaScience
Human Molecular Genetics
Journal of Animal Science
Journal of Clinical Oncology
Journal of Economic Entomology
Journal of Genetics and Genomics
Journal of Virology
Molecular Biology and Evolution
Molecular Therapy
Mycorrhiza
Nature
Nature Biotechnology
Nature Communications
Nature Genetics
Nature Methods
Nature News blog
Nature Protocols
Nature Reviews Microbiology
Nature Reviews Genetics
New Biotechnology
New Phytologist
Opera Botanica
Philosophical Transactions of the Royal Society Biology
Plant Biotechnology Journal
Plant Cell
Plant Journal
Plant Omics Journal
Plant Physiology
Plant Science
PLoS Biology
PLoS Genetics
PLoS ONE
Proceedings of National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)
Rice
Science
Science News blog
Science Translational Medicine
The American Journal of Psychiatry
The New England Journal of Medicine
The Strand Magazine
Tree Genetics & Genomes
Trends in Biotechnology

Genteknikn ämnden är en statlig myndighet som inrättades 1994. Varje år lämnar myndigheten in en rapport till regeringen som beskriver genteknikens utveckling under det gångna räkenskapsåret.

Genteknikn ämnden har till uppgift att följa och sprida kunskap om utvecklingen på genteknikområdet. Nämnden har även till uppgift att genom rådgivande verksamhet främja en etiskt försvarbar och säker användning av gentekniken så att människors och djurs hälsa och miljön skyddas.

Genteknikn ämnden är rådgivande instans till bland annat regeringen, Jordbruksverket och Livsmedelsverket. Genom sin sammansättning av politiker och forskare spelar Genteknikn ämnden en viktig roll som brobyggare mellan den politiska sfären och forskarvärlden.

Genteknikn ämnden, Karolinska Institutet Science Park, Fogdevreten 2A, 171 65 Solna

Tel. 08-50884630, e-post genteknik@genteknik.se

www.genteknik.se