

Ágrip af grasa- og dýrafræði

**Fyrri hluti
2. útgáfa**

**Ágúst H. Bjarnason
tók saman**

Reykjavík 2007

Efnisyfirlit

Formáli	3
Inngangur	4
1.1 Líf og lífverur	4
1.2 Fruma	5
1.3 Ágrip af sögu frumurannsókna	7
2. Ágrip af frumufræði	9
2.1 Yfirlit	9
2.2 Plöntufrumur og dýrsfrumur	10
2.2.1 Kjarni 2.2.2 Umfrymi 2.2.3 Glærfrymi 2.2.4 Frumuhimna 2.2.5 Netkorn	
2.2.6 Frymisnet 2.2.7 Golgíflétta 2.2.8 Leysibóla 2.2.9 Örbólur 2.2.10	
Hvatberi 2.2.11 Plástíð 2.2.12 Safabóla og osmósa 2.2.13 Frumuveggur 2.2.14	
Svipur og bifhár 2.2.15 Frymisgrind 2.2.16 Deilikorn	
2.3 Kjarna- og frumuskiptingar	24
2.3.1 Litningar 2.3.2 Einlitna og tvílitna 2.3.3 Mítósa 2.3.4 Meiósa	
2.4 Æviskeið og ættliðaskipti	28
2.4.1 Einlitna æviskeið 2.4.2 Tvílitna æviskeið 2.4.3 Tvíeinlitna æviskeið	
2.5 Lífshættir	30
3. Flokkun lífvera	32
3.1 Flokkunarfræði	32
3.1.1 Hugtakið tegund 3.1.2 Smærri flokkunareiningar 3.1.3 Skipulagsstig	
flokkunarfræðinnar	
3.2 Tvínafnakerfi	37
3.3 Ríki lífvera	39
3.4 Tengsl á milli hópa	42
3.5 Yfirlit yfir ríkin fimm	43
3.5.1 Dreifkjörnungar 3.5.2 Frumverur 3.5.3 Sveppir 3.5.4 Vefdýr 3.5.5 Vefplöntur	
4. Veirur	46
5. Gerlar	48
5.1 Inngangur	48
5.2 Gerð og starfsemi	49
5.2.1 Stærð og lögun 5.2.2 Frumuveggur og hylki 5.2.3 Svipur og festipræðir	
5.2.4 Frymi og frumuskiptingar 5.2.5 Hreyfing gerla	
5.3 Útbreiðsla gerla	52
5.4 Lífshættir gerla	53
5.4.1 Ófrumbjarga lífshættir 5.4.2 Frumbjarga lífshættir	
5.5 Flokkun gerla	56
5.5.1 Blágerlar 5.5.2 Forngerlar	
6. Sveppir	59
6.1 Flokkun	59
6.2 Bygging sveppa	60
6.3 Lífshættir sveppa	62

6.3.1 Rotlífi 6.3.2 Sníkjulífi	
6.4 Oksveppir	64
6.5 Asksveppir	66
6.5.1 Einkenni asksveppa 6.5.2 Kynlaus æxlun 6.5.3 Kynæxlun 6.5.4 Einfruma asksveppir: Gersveppir	
6.6 Kólfsveppir	69
6.6.1 Æxlun 6.6.2 Flokkar kólfsveppa	
6.7 Svepprót og nornabaugar	71
6.8 Vanburðasveppir	71
6.9 Sveppir og menn	72
6.10 Fléttur	74
6.10.1 Útlit og nytjar 6.10.2 Sambýli svepps og ljóstillífunarveru 6.10.3 Æxlun 5 .10.4 Vaxtarstaðir	
7. Frumverur	78
7.1 Inngangur	78
7.2 Frumdýr	80
7.2.1 Flokkun frumdýra 7.2.2 Slímsvipungar 7.2.3 Gródýr 7.2.4 Þráðgródýr 7.2.5 Brádýr	
7.3 Eggsveppir	89
7.4 Kytrusveppir	90
7.5 Totu-slímsveppir og slímsveppir	90
7.6 Brúnþörungar og gulþörungar	93
7.6.1 Brúnþörungar 7.6.2 Gulþörungar	
7.7 Eldþörungar	97
7.8 Dílþörungar	98
7.9 Rauðþörungar	99
7.10 Grænþörungar	100
7.10.1 Inngangur 7.10.2 Flokkun 7.10.3 Grænsvipungar og sambú 7.10.4 Grænþráðungar 7.10.5 Grænhimnur 7.10.6 Kransþörungar	

Formáli

Námsefni í líffræði í framhaldsskólum er með ólíkum hætti. Víðast hvar er þó »Lífið« eftir M.B.V. Roberts notað nema í náttúrufræðideildum skólanna. Námsefni handa nemendum þar hefur verið næsta fáskrúðugt, enda eru skoðanir manna á því, hvað þar eigi að kenna, mjög skiptar.

Í rúma tvo áratugi hefur námsefni í náttúrufræðideildum í Menntaskólanum við Sund verið í jafnri en hægri mótun og endurskoðun. Seint eða aldrei verður lokamarkinu þó náð. Meðal annars hefur rík áhersla ávallt verið lögð á klassíska grasa- og dýrafræði, enda þótt þau fræði hafi ekki átt upp á pallborðið hjá »skólamönnum« hin síðari ár, hvorki í grunn- né framhaldsskólum. Þó að til séu nokkrar ágætar bækur á íslensku, er engin ein, sem fellur fyllilega að þess háttar námsefni, og í annan stað hefur ekki þótt sæmandi að nota erlendar bækur. Því var brugðið á það ráð að taka saman þetta fjölrít.

Unnið hefur verið að þessari samantekt í hjáverkum um nokkurt skeið og fékkst nokkur styrkur til þess frá menntamálaráðuneyti og Hagþenki - félagi höfunda fræðirita og kennslugagna. Verkið hefur sóttst verr en ætlað var í fyrstu og tíðum lent í útideyfu vegna annarra starfa. Meðal annars þess vegna voru ekki tök á að koma öllu út í einu, og einhver bið verður á því, að seinni hluti – um vefplöntur og vefdýr – komi út, þó að hann sé til að stærstum hluta í handriti.

Nokkrir valinkunnir menn hafa séð af tíma sínum og lesið yfir kverið, að hluta eða í heild. Þeir bentu mér á mörg atriði, sem eg tók nær öll til greina, en skýt mér þó ekki á bak við þá, ef ekki er rétt frá greint. Þeir eru: Árni Heimir Jónsson, Hákon Óskarsson, Helgi Hallgrímsson, Skúli Þór Magnússon, Þórir Haraldsson og Örnólfur Thorlacius. Kann eg þeim bestu þakkir.

Á vetrarsólvörfum 1993
Ágúst H. Bjarnason

Formáli 2. útg.

Hefti þetta hefur verið notað um allnokkur ár í kennslu í 3. bekk náttúrufræðideildar í Menntaskólanum við Sund. Nú hafa verið gerðar umbætur á því í nokkrum mæli. Kaflinn um frumur hefur verið aukinn og lagfærður víða. Þá er að geta þess, að hér er gert ráð fyrir, að heilkjarna frumur séu komnar af forngerlum en ekki raungerlum (Eubacteria). Þá er og minnst á, að forngerlar eru nú iðulega aðskildir frá gerlum sem sérstakt fylki eða ríki, þó að þeirri skiptingu sé ekki fylgt eftir að sinni. Hins vegar er hér lagt til nýyrðið fyrnur (et. fyrna) um þennan hóp lífvera (Archaea).

Fáeinir myndir hafa verið felldar niður í þessari útgáfu og nokkrum nýjum skotið inn. Minni áhersla en áður er lögð á æviferil einstakra lífvera.

Lesendur eru beðnir að hafa í huga, að þetta hefti er gefið út vegna skorts á hentugu lesefni handa nemendum. Því miður var ekki annað þrautaráð, svo að nemendur gætu fengið íslenskt lesefni í hendur.

Við lok hundadaga 2002
Ágúst H. Bjarnason

Í Íslensku alfræðiorðabókinni er eina skýringin á lífi þessi:
Líf: mittissíður léreftsbolur kvenna, hnepptur að framan; stundum með útsaumi við handveg og hálsból; komst í tísku um 1880.

Hinir lifandi eða organisku hlutir eru jurtir og dýr. Þeir hljóta allir að hafa færi eða verkfæri til þess að geta lifað (*organa*), og þessi líffæri eru í rauninni sérhver einstakur hluti hins lifanda líkama, hvernig svo sem hann er skapaður.

Benedict Gröndal, 1878: Dýrfræði.

1. Inngangur

1.1 Líf og lífverur

Líf og *dauði* eru orð, sem leita oft á hugann. Orðin vekja ákveðin hughrif, góð eða slæm eftir atvikum. Þau geta reyndar þýtt ótal margt, enda notuð í ýmsum samböndum. Hver sem merkingin er, eru þau oftast andræðrar merkingar. Líf táknar meðal annars það að lifa, draga andann eins og sagt er, hreyfingu, fjör og jafnvel lífernir eða líkamshluta. Dauði er á hinn bóginn ævilok, fjörtjón, eyðilegging, hreyfingarleysi eða slokknun. Menn hafa löngum deilt um inntak orðanna og sýnist þar sitt hverjum. Rökræður um hina »sönnu« merkingu orðanna eru með öllu tilgangslausar, því að þau hafa enga eina sanna, innri merkingu fremur en mörg önnur orð og hugtök í málinu.

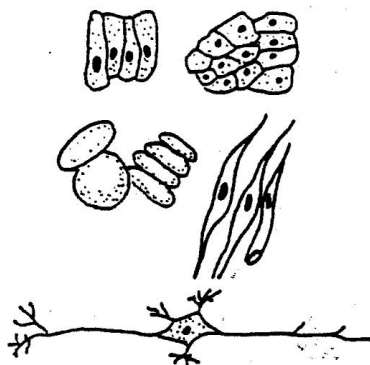
Í líffræði merkir líf ákveðna, fjölbætta starfsemi. Síðar verður fjallað um í hverju þessi tiltekna starfsemi er fólgin. Í fyrstu er látið nægja að draga saman helstu atriði, sem einkenna líf, en þau eru:

- a) *næringarnám*: Lífverur taka upp eða sækja sér nauðsynleg efni í umhverfið.
- b) *frumuöndun*: Næringarefnum er sundrað og úr þeim fæst orka til starfa, gerist ýmist í súrefni (loftháð) eða án súrefnis (loftfirrt, gerjun).
- c) *nýmyndun*: Lífvera myndar sín eigin efni úr öðrum efnum, sem koma inn sem fæða.
- d) *úrgangsloksun*: Efni, sem myndast í lífveru og nýtast ekki, eru losuð út í umhverfið.
- e) *æxlun*: Lífvera getur af sér nýja einstaklinga.
- f) *aðhæfing*: Lífvera bregst við breyttum aðstæðum annaðhvort inni í líkamanum eða utan hans.
- g) *þróun*: Langvarandi og óslitin aðhæfing kynslóða að breyttum aðstæðum.
- h) *dauði*: Lífsstarfsemi lokið; fyrr eða síðar fara aðstæður út fyrir lífvænleg mörk.

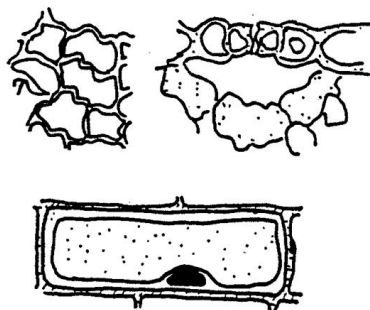
Næst er að spyrja, hvar er þessi tiltekna starfsemi. Því er til að svara, að líf í þeirri merkingu, sem líffræðingar nota, er ætíð bundið við *lífverur*. Með öðrum orðum er lífvera ákveðin heild, þar sem fram getur farið lífsstarf-

Aldrei sá eg ættarmót
með eyrarós og hrafni.
Allt mun þó af einni rót
í alheims gripasafni.

Ólína Jónasdóttir skáldkona frá
Fremri-Kotum, Skag. (f.1885 -
d.1956) botnaði fyrripart frá Ísleifi
Gíslasyni.



Myndin sýnir nokkrar gerðir af
dýrsfrumum.



Myndin sýnir nokkrar gerðir af
plöntufrumum.

semi.

Til eru margar gerðir af lífverum, stórum sem smáum. Fljótt á litið virðist harla fátt vera sameiginlegt æði mörgum lífverum, eins og til dæmis túnfífl og gíraffa. Þegar betur er að gáð, kemur í ljós, að allar lífverur eru byggðar úr sams konar einingum. Sérhver eining nefnist *fruma*. Sú kenning, sem segir, að allar lífverur eru úr frumum, nefnist frumukenning (sjá síðar). Sumar lífverur eru aðeins ein fruma, og vart eða ekki sýnilegar berum augum, en aðrar eru gerðar úr milljónum frumna.

Frumur eru úr ýmsum efnasamböndum, lífrænum sem ólífrænum. Í þeim verða sífellt margbreytileg efna- hvörf, þar sem orka ýmist binst eða losnar. Margvíslegar sameindir af ýmsum stærðum og gerðum eru á stöðugri hreyfingu, bæði innan frumu og til hennar og frá. Allar hræringar innan frumu fara eftir fastmótuðum ferlum og samræmdu heildarskipulagi á vissum stöðum og tengjast ákveðnum frumuhlutum. Í meginatriðum er starfsemin eins eða mjög svipuð í öllum frumum, og þessa tilteknu starfsemi nefnum við *líf*.

Líffræði (biologi; gríska bios, líf) fjallar um líf og lífverur í öllum þeim margbreytilegu myndum, sem hvort tveggja kemur fyrir hér á jörðu og samskipti hinnar lífvana og lifandi náttúru. Fátt er það, sem snertir ekki fræðigreinina og það hefur aldrei verið henni fjötur um fót, þó að engin ótvíræð skilgreining sé til á lífi og dauða.

1.2 Fruma

Eins og áður segir er fruma minnsta eining, þar sem fram getur farið sú starfsemi, sem nefnist líf. Með öðrum orðum, líf er ákveðin, skilgreind starfsemi. Á hinn bóginn er lífvera skýrgreind sem viss heild með ákveðna byggingu, þar sem lífstarfsemi er. Lífverur eru úr einni eða fleiri frumum, það er ýmist einfrumungar eða fjölfrumungar.

Til eru margar gerðir af frumum. Í mannlíkama eru að minnsta kosti hundrað ólíkar gerðir. Í plöntum eru margar mismunandi gerðir frumna og allar eru þær ólíkar frumum í dýrum. Vert er líka að minnast þess, að allar frumur í einum einstaklingi, plöntu eða dýri, eru komnar af einni og sömu frumunni – okfrumunni – sem myndast við frjóvgun, þ.e. samruna eggfrumu og sæðfrumu. Frumur í hverjum einstaklingi hafa því nákvæmlega sömu erfðavísa – gen – í sér. Samt sem áður greinast þær í margar mismunandi frumugerðir, þegar lífveran vex og verkaskipting verður á milli einstakra hluta hennar. Enn meiri furðu vekur samt sú staðreynd, að í meginatriðum

$1\mu\text{m} = 1/1000 \text{ mm} = 10^{-3} \text{ mm}$ $1 \text{ nm} = 1/1000 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ mm}$ Sé bil á milli tveggja punkta minna en 0,1 mm (100 míkrometrar, μm), greinir mannsaugað þá sem einn punkt. Með hjálp ljóssmásjár má auka greiningarhæfni svo, að þeir sjást sem tveir punktar, fari bilið á milli þeirra niður í 0,2 μm. Með því að nýta sér rafsegulgeisla í rafeinda-smásjá með mun hærri tíðni en augað skynjar, er unnt að greina á milli tveggja punkta, þó að fjarlægðin sé ekki meiri en sem nemur um 0,3 nanómetrum.	eru flestar frumur býsna líkar að allri gerð, enda þótt sérhæfingin setji mark sitt á þær. Flestar frumur eru ósýnilegar; þvermálið er frá 0,01 til 0,1 mm; minnstar eru gerlafrumur, örfáir þúsundustu hlutar úr millímetra. Lengstu plöntufrumur eru trefjafrumur sumra lauftrjáa, sem verða allt að hálfur metri, en í dýrum eru taugafrumur lengstar eða um hálfur annar metri. Fyrir því hve frumur eru litlar er oftast notuð mælieiningin <i>míkrometri</i> (μm), þegar stærð þeirra er tilgreind, en um einstaka frumuhluta er hins vegar notuð mælieiningin <i>nanómetri</i> (nm). Sérhver fruma er sjálfstæð eining, jafnvel þótt hún sé hluti af stærri heild, fjölfrumungi. Allar frumur eru klæddar frumuhimnu, sem stjórnar flutningi efna inn í og út úr þeim. Vegna þessa sérstaka eiginleika himnunnar, að geta valið sum efni en hafnað öðrum, er hlutfall efna inni í frumu annað en utan hennar. Af þessum sökum getur sérleg starfsemi farið fram innan frumunnar og þá starfsemi köllum við líf. Frumuhimnan og efnið innan hennar, <i>frymið</i>, er hið lifandi efni frumunnar. Það er að mestu úr vatni (60–90%) en líka úr fituefnum (lípíðum), sykrum, prótínum og fjölmörgum efnum öðrum. Af þeim má nefna erfðaefnið, sem heitir á máli efnafræðinnar deoxyríbósa-kjarnsýra, en gengur ávallt undir skammstöfuninni DKS, og er frumheimildin að allri gerð og starfsemi frumunnar. (Á stundum er notuð enska skammstöfunin DNA, sem stendur fyrir »deoxiribose nucleic acid«.) Ljóst er, að það er hið nána samband á milli gerðar og starfsemi, sem einkennir lifandi frumu. Eftirtalin fjögur atriði er vert að hafa í huga: 1. Allar lífverur eru úr smásæjum frumum. 2. Lifandi fruma er samofin skipulagsheild. 3. Í grundvallaratriðum eru allar frumur gerðar úr sams konar efnum: ólífrænum efnum eins og vatni og söltum og lífrænum efnum svo sem kjarnsýrum, fjölsykrum, lípíðum og prótínum. 4. Í lifandi frumum fer fram samþætt starfsemi, sem í meginatriðum er eins í þeim öllum.
---	---



Smásjáin, sem Robert Hooke, breskur stærðfræðingur, notaði til þess að skoða frumur.

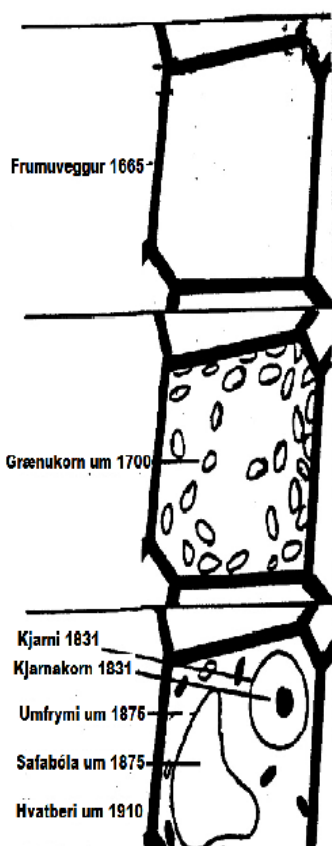
1.3 Ágrip af sögu frumurannsókna

Saga frumurannsókna er nátengd sögu smásjárinnar. Stafar það af því, að frumur eru svo litlar, að þær sjást ekki nema við þó nokkra stækkun. Bretinn Robert Hooke (1635–1703), uppgötvaði frumur, þegar hann skoðaði korkbút og fleira plöntukyns í smásjá. Í riti sínu *Micrographia* (Smámyndir) frá 1665 notaði hann enska orðið »cell«, hólf, klefi, herbergi, um það, sem hann sá. Þó liðu um 150 ár þangað til þessi merking orðsins hlaut almenna viðurkenningu. Á íslensku var »sella« lengi notað og er enn í vissum orðasamböndum (t.d. heilasellur), en nú er orðið fruma haft um þessa hluti. Það voru þó ekki lifandi frumur, sem Hooke sá, heldur umgerðir dauðra plöntufrumna, frumuveggirnir.

Um svipað leyti voru ýmsir menn aðrir að fást við athuganir á lífverum. Af þeim má nefna enskan lækni og grasafræðing, Nehemiah Grew (1641–1712), sem lýsti, hvernig »blöðrur« og »bólur« eru aðal uppistaðan í vissum plöntuvefjum. Athuganir sínar dró hann saman í bókinni *The Anatomy of Plants*, sem kom út 1682. Að svipaðri niðurstöðu komst ítalskur lífeðlisfræðingur, Marcello Malpighi (1628–1694), en hann greindi frá mismunandi byggingu plantna í *Anatome Plantarum* 1675. Meðal hinna þekktari var hollenskur kaupmaður, Anton van Leeuwenhoek (1632–1723). Hann varði öllum frístundum sínum til þess að útbúa smásjár með því að raða saman stækkunarglerjum. og lýsa »litlum verum« í ýmsum sýnum. Þessum mönnum auðnaðist þó ekki að skilja mikilvægi frumna og átta sig á samhengi í byggingu lífvera.

Þekkingin óx hægt og sígandi á þessum tíma enda varð það ekki fyrr en á öndverðri nítjándu öld, að skriður komst á frumurannsóknir. Robert Brown, skoskur grasafræðingur (1773–1858), uppgötvaði kjarna í frumu 1831, og það telst til meiri háttar tíðinda, þegar tveir Þjóðverjar – Matthias Jacob Schleiden grasafræðingur (1804–1881) og Theodor Schwann dýrafræðingur (1810–1882) – settu fram þá kenningu hvor í sínu lagi 1838 og 1839, að allar lífverur væru gerðar úr frumum.

Þó að þessum tveimur mönnum hafi hlotnast heiðurinn af því, að hafa fyrstir gert sér ljóst, að allar lífverur eru úr frumum, var þessi skoðun ekki ný af nálinni. Að minnsta kosti tveir menn aðrir höfðu bent á þetta allnokkrum árum áður. Það voru Þjóðverjinn Lorenz Oken (1779–1851) og Frakkinn René Joachim Henri



Myndin sýnir, hvenær einstökum frumuhlutum var fyrst lýst.

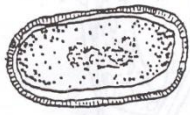
Dutrochet (1776–1847). Athuganir þeirra náðu þó hvorki eyrum annarra fræðimanna né almennings.

Með *frumukeningunni* var lagður einn af hornsteinum líffræðinnar. Segja má, að vitneskjan um að allar lífverur eru úr frumum, sé ein mikilvægasta uppgötvunin í líffræði.

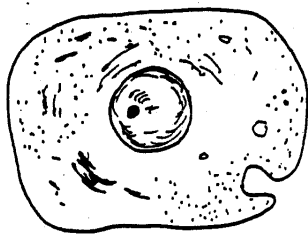
Tveimur ártatugum síðar, 1859, sama ár og Englendingurinn Charles Darwin (1809–1882) gaf út bókina *Origin of Species*, hélt Þjóðverji, R. Virchow (1821–1902) að nafni, því fram, að fruma yrði aðeins til úr frumu, *omnis cellula e cellula*. (»Wo eine Zelle entsteht, da muss eine Zelle vorausgegangen sein...«)

Á síðari hluta 19. aldar beindust athuganir manna aðallega að kjarna frumunnar og hlutverki hans. Smám saman uppgötvuðu menn, hvernig frjóvgun á sér stað, þ.e. samruni egg- og sæðfrumu og *mítósu*- og *meiósuskiptingum* var lýst. Efninu, sem umlykur kjarnann, *umfrymi*, var fyrst lýst 1846 af Hugo von Mohl (1805–1872). Rannsóknir á því voru þó erfiðar viðfangs, því að menn bjuggu ekki yfir nægilegri tækni til þess að athuga það. Eftir því sem smásjár urðu betri fleygði þekkingu fram og mönnum lærðist að beita ýmsum aðferðum, svo sem að skera þunnsneiðar til að skoða í smásjá og lita sýnin, við að dýpka skilning á frumum.

Frá árunum um og eftir 1940 tóku rannsóknir á frumum verulegan fjörkipp. Ástæðan fyrir því var stórbætt tækni á flestum sviðum. Meðal annars varð unnt að aðskilja einstaka frumuhluta í hraðgengum skilvindum og beita geislavirkum samsætum til þess að öðlast vitneskju um margs konar lífefnahvörf, eins og nýmyndun og sundrun lífrænna efna. Þá markar tilkoma rafeindasmásjár (1938) tímamót. Það eru engar ýkjur, að í fáum fræðigreinum hafi verið stigin stórstígari spor en í líffræði hin síðari ár. Engu að síður er mörgum spurningum um líf og lífverur ósvarað, þó að gerð og starfsemi frumna sé allvel þekkt í grundvallaratriðum.



Í dreifkjarna frumu er enginn kjarni. Erfðaeftnið, litnið, er sem einn eða fleiri kekkir í fryminu.



Tveir aðalhlutar heilkjarna frumu eru kjarni, afmarkaður af kjarnahjúpi, og umfrymi, afmarkað af frumuhimnu. Utan um sumar frumur er frumuveggur. Erfðaeftnið, litnið, er inni í kjarna.



Einfölduð mynd af stórsameindunum DKS og RKS

2. Ágrip af frumufræði

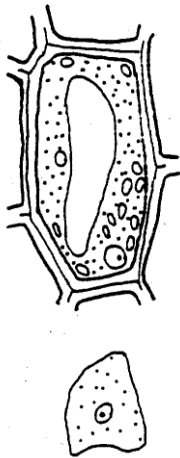
2.1 Yfirlit

Fyrr á öldum voru menn aldrei í vafa um hvað væri lífvana og hvað lifandi. Trúa manna var sú, að guð hefði skapað lífverur, dýr og plöntur. Þá lék heldur enginn vafi á því, hvað væri dýr og hvað planta, og lífheiminum var einfaldlega skipt í plönturíki og dýraríki. Með vaxandi þekkingu hafa þessi skil stöðugt orðið daufari og nú nægir þessi einfalda skipting ekki lengur. Því er reyndar haldið fram, að í ríki náttúrunnar sé ekki að finna nein skörp skil á milli hluta; náttúran sé ein samofin heild, þar sem hver hlutur tekur við af öðrum. Vissulega má þetta til sanns vegar færa.

Á hinn bóginn eru þó skörpust skil í ríki náttúrunnar á milli tveggja megingerða af frumum. Allar frumur, sem menn þekkja, skiptast í tvo aðalhópa: *Dreifkjarna frumur* (prokaryotes) og *heilkjarna frumur* (eukaryotes).

Dreifkjarna frumur skortir margt af því, sem þrýðir heilkjarna frumur. Þær hafa engan kjarna og því er erfðaeftnið (DKS) ekki skilið frá öðrum hlutum frymisins af kjarnahjúpi. Það er auk heldur ekki bundið við svo kallaða litninga. Í þeim eru engir himnuklæddir frumuhlutar. Þær lifa ýmist stakar eða í þyrpingum og tengsl á milli einstakra frumna eru næsta lítil, svo að þær eru ekki háðar hver annarri eins og í fjölfrumungum. – Dreifkjarna frumur er aðeins að finna í gerlum, það er fyrnum (forngerlum) og raungerlum (bakteríum), að meðtöldum blágerlum, sem nefndust áður blá(grænþörungar. Þessar lífverur nefnast því *dreifkjörnungar* öðru nafni.

Í heilkjarna frumum skiptist frymið hins vegar í *kjarna* og *umfrymi*. Kjarninn er afmarkaður af *kjarnahjúpi* (kjarnahimnu) og inni í honum eru *kjarnakorn* og erfðaeftnið (DKS) tengt prótínum og myndar þar litninga. Umfrymið er vatnslausn, *glærfrymi*, og í smásjá má greina í því örlitla *frumuhluta* (»frumulíffæri«). – Heilkjarna frumur eru í öllum öðrum lífverum en gerlum, eins og frumverum, það er ýmsum einfrumungum og fjölfruma þörungum; sveppum, vefplöntum, og vefdýrum. Einu nafni kallast þessar lífverur *heilkjörnungar*.



Efri mynd sýnir plöntufrumu úr laufblaði en neðri myndin dýrsfrumu úr þekjuvef.

Á mynd 2.1 bls. 12 má sjá, hvernig dýrs- og plöntufrumur líta út í höfuðdráttum.

Mynd 2.2 á bls. 13 sýnir, hvernig hinar sömu frumur líta út í rafeindasmásjá.

Ýmislegt annað en hér hefur verið talið, skilur að dreifkjarna og heilkjarna frumur. Hinar síðar nefndu eru að jafnaði miklu mun stærri og er rúmfang þeirra 1000 til 10'000 sinnum meira. Þrátt fyrir þennan mun eru þó engu að síður mörg sameiginleg einkenni. Báðar megingerðirnar afmarkast af *frumuhimnum*, sem eru svipaðar að þykkt og byggingu, þó að efnasamsetningin sé að nokkru ólík. Erfðaefni beggja gerða er úr stórsameindinni DKS (deoxyríbósa-kjarnsýru) og í báðum er það önnur kjarnsýra, RKS (ríbósa-kjarnsýra), sem tekur afrit af frumheimildinni DKS og flytur það til frumuhlutanna (netkorna), þar sem nýmyndun prótína fer fram. Í stórum dráttum er um sams konar efnaferli að ræða og bendir það ótvírætt til þess að báðar þessar megingerðir frumna séu af sömu rót runnar.

Stutt ágríp af frumufræði, sem hér fer á eftir, tekur mið af heilkjarna frumum. Um dreifkjarna frumur er fjallað í kaflanum um gerla hér á eftir.

2.2 Plöntufrumur og dýrsfrumur

Þótt hin gamla skipting í plöntu- og dýraríki sé aflögð, er eigi að síður hagkvæmt að skipta heilkjarna frumum í plöntufrumur og dýrsfrumur. Í meginatriðum er grundvallargerðin hin sama í báðum gerðum. Um allar frumur lýkur frumuhimna, sem er gerð úr tveimur lögum af fosfólípíðum auk ýmissa annarra efna, eins og vikið verður að síðar. Hlutverk himnunnar er að tempra flutning efna inn og út úr frumunni.

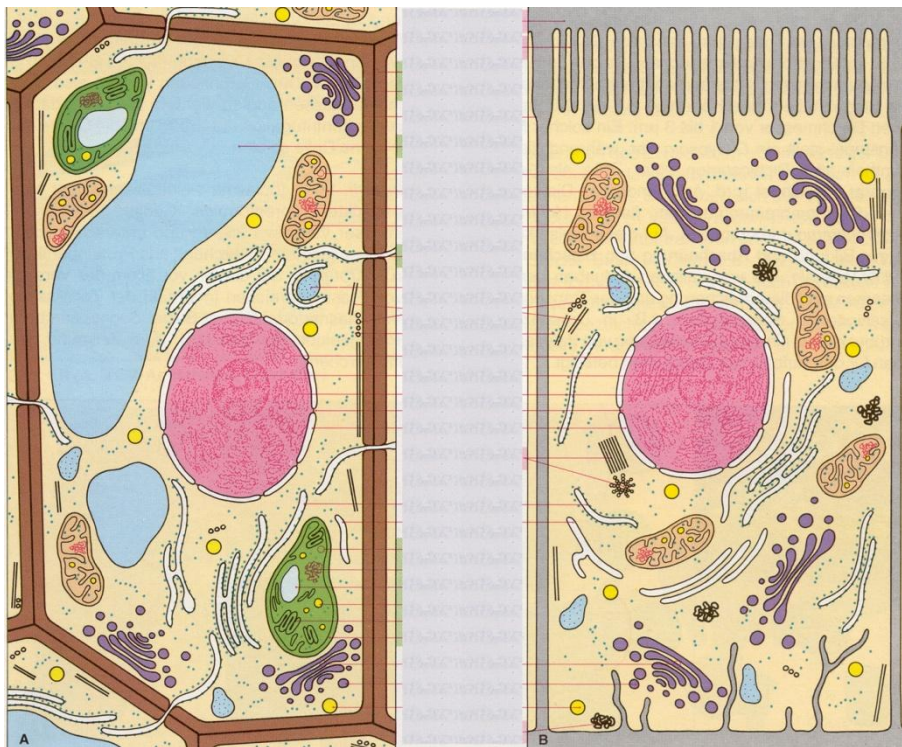
Allt efni innan frumuhimnu nefnist frymi, og í því eru margir frumuhlutar (frumulíffæri), sem sinna sérhæfðum störfum. Þetta eru verkfæri frumunnar til að framkvæma öll þau störf lífsstarfseminnar. Í ósérhæfðum frumum eins og einfrumungum eru störfin innt af hendi innan einnar frumu, en í fjölfrumungum gegnir öðru máli. Þar eru hópar frumna, sem hafa sérhæft sig til vissra starfa, en um leið hafa þeir misst hæfileika til annarra verka. Það kemur þó ekki að sök, því að sameiginlega sinna allar frumur í fjölfrumungi nauðsynlegum störfum.

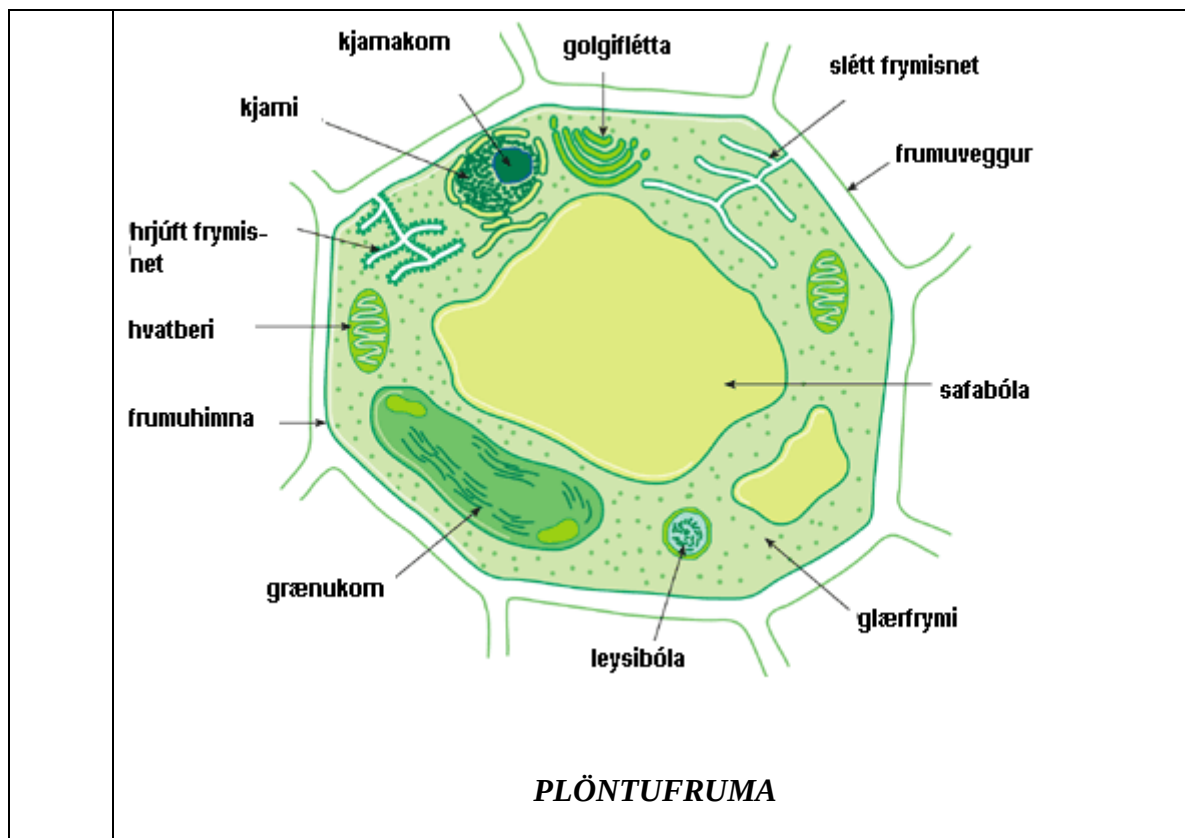
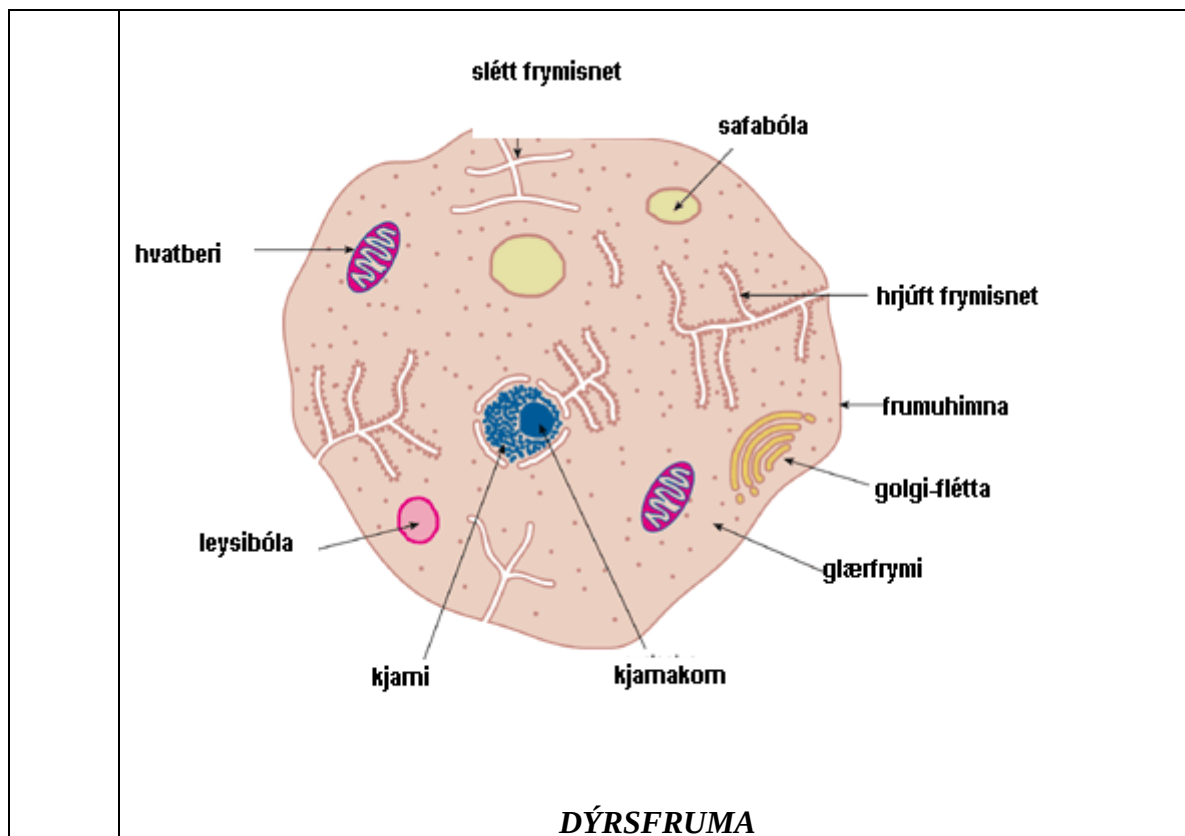
Eins og áður hefur komið fram nefnist lifandi efni frumunnar frymi. Því má skipta í tvo hluta:

	FRYMI = KJARNI OG UMFRYMI Innan kjarnans má greina eftirtalin atriði: Kjarnasafi, litni, kjarnakorn og kjarnahjúpur. Litnið getur tekið á sig ýmsar myndir og nefnist ýmist dreif- eða þéttlitni. Þéttlitni kallast litningar. Umfrymið er lausn með ótal frumuhlutum, efnum og efnasamböndum. Helstu hlutar umfrymisins eru: Frumuhimna, glærfrymi, frymishimnur (frymis-net, golgíflétta, leysibóla, örbóla), grunnkorn, netkorn (ríbósóm), hvatberi, plastíð* (grænukorn, hvítukorn, litkorn), safabóla*, bifhár og svipa, deilikorn**, frymisgrind (örtrefjar, örþræðir, örpíplur) og frumuveggur úr beðmi*.
--	---

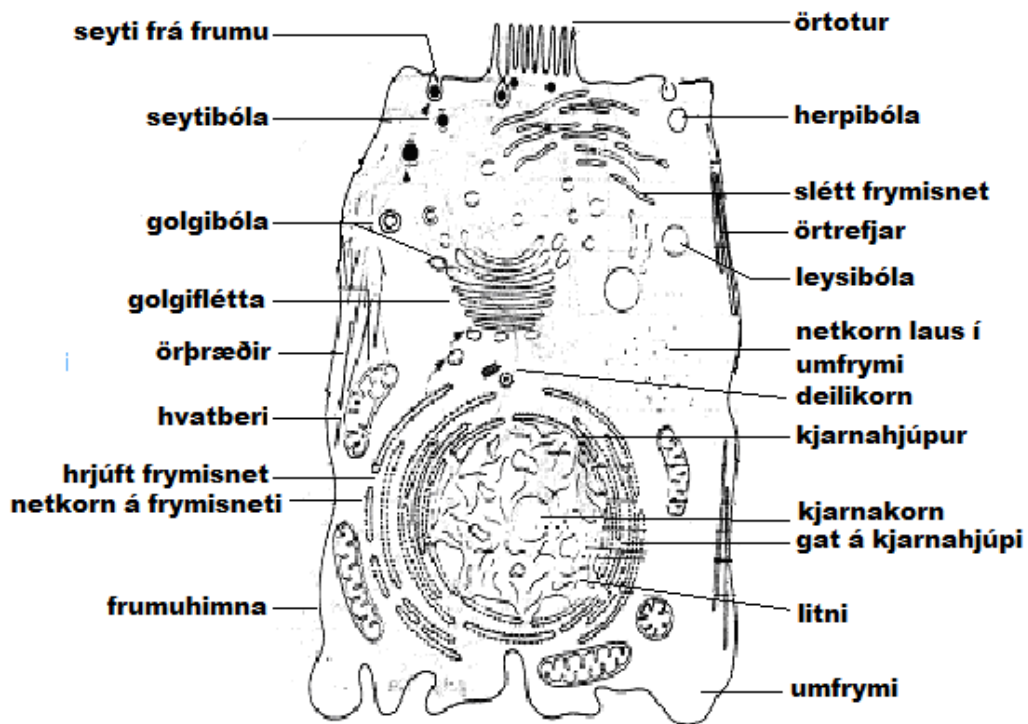
*aðeins í plöntufrumum; **aðeins í dýrsfrumum

Hér að neðan eru tvær myndir, önnur af plöntufrumu og hin af dýrsfrumu. Gott er að bera þessar myndir saman áður en litið er á aðrar myndir hér á næstu síðum.

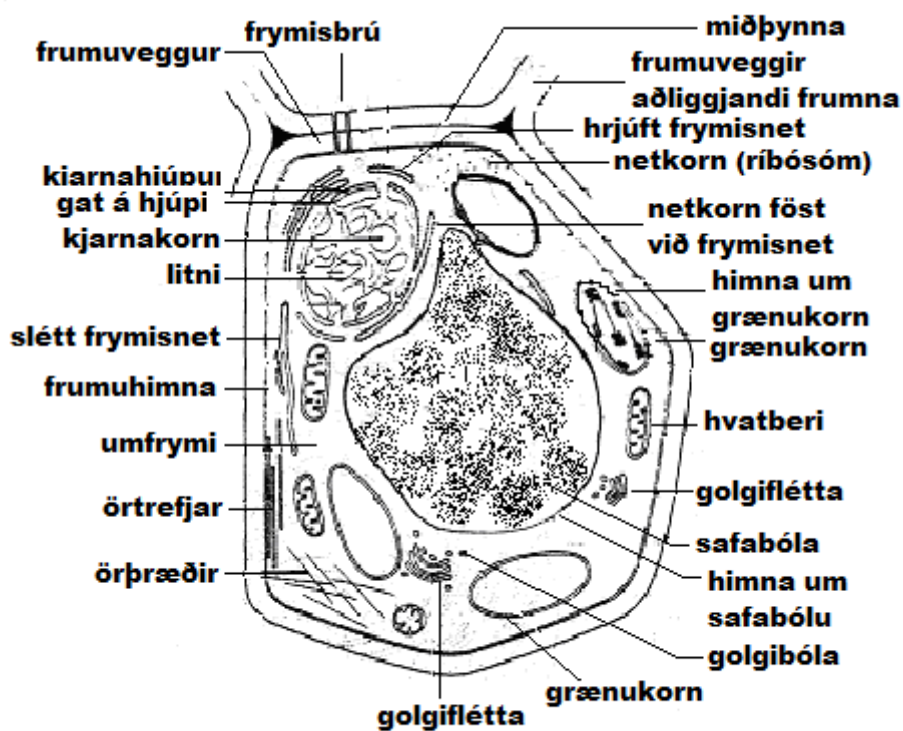




Mynd 2.1 Einfaldaðar myndir, sem sýna dýrs- og plöntufrumur.

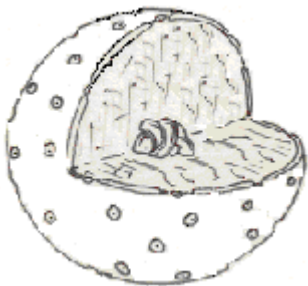


Dýrsfruma



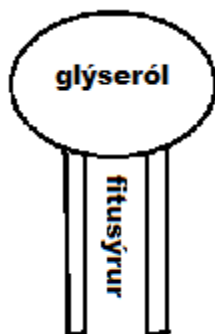
Plöntufruma

Mynd 2.2. Teikningar af dýrs- og plöntufrumum eins og þær líta út í rafeindasmásjá.

 Frumukjarni	2.2.1 Kjarni Í flestum heilkjarna frumum er einn kjarni. Frá þessari meginreglu eru þó nokkrar undantekningar. Í sumum frumdýrum (t.d. <i>Paramecium</i>) eru tveir misstórir kjarnar, <i>stórkjarni</i> og <i>smákjarni</i>, og í fullþroskuðum rauðkornum spendýra og sáldfrumum plantna hverfa kjarnarnir. Frumur sveppa eru margar fjölkjarna en flestir hallast að því, að það sé vegna þess, að skil á milli frumna séu horfin. Þrátt fyrir þessar fáu undantekningar, er meginreglan sú, að aðeins einn kjarni er í hverri frumu. Kjarninn er oft áberandi hluti frumu. Hann er kúlu- eða egglega, um 10 μm að þvermáli og um 20 μm á lengd. Í honum er erfðaeefnið, litnið, sem er frumheimild um gerð og starfsemi frumunnar. Litnið er að mestum hluta úr prótínum (histón) og kjarnsýrunni DKS¹. Önnur kjarnsýra, mótandi-RKS (mRKS), tekur afrit af DKS og flytur heimildirnar út í umfrymið, þar sem unnið er samkvæmt þeim. Frumheimildin DKS er gædd þeim hæfileika að geta tvöfaldast, svo að erfðaeiginleikar geta gengið frá kyni til kyns. Að lokinni tvöföldun erfðaefnis (DKS) skiptir kjarninn sér og að lokum skiptist fruman í tvær afkvæmisfrumur (sjá <i>mítósu</i> bls. 26). Á þann hátt flytjast sömu erfðaheimildir einnar frumu yfir í tvær nýjar frumur, svo nefndar <i>dótturfrumur</i>. Ef frumur eru skoðaðar í rafeindasmásjá eftir að þær hafa verið deyddar og litaðar, sést DKS kjarnsýran ekki, heldur <i>litnið</i>, og flýtur það um í seigfljóttandi <i>kjarnasafa</i>. (Litnið er úr DKS, prótínum (einkum histón) og RKS.) Í upphafi hverrar frumuskiptingar þéttist litnið (<i>dreiflitni</i> verður að <i>þéttlitni</i>) og verður síðan að aflöngum strengjum, <i>litningum</i>. Nafnið er dregið af því, að litningarnir litast greiðlega með ýmsum efnum, þegar útbúin eru sýni fyrir smásjárskoðun. Í litningunum eru <i>genin</i> og geyma þau upplýsingar um öll prótín, sem fruman þarf að mynda. Í kjarnanum er eitt eða fleiri <i>kjarnakorn</i>, litlir hnöttóttir hnoðrar, sem leysast upp á meðan frumuskiptingar vara. Í kjarnakornum myndast mRKS, ein gerð af RKS kjarnsýru. Hún tengist þar prótínum og myndar hluta af frumuhluta, sem nefnist <i>netkorn</i>. Kjarninn er umluktur <i>kjarnahjúpi</i>, sem aðgreinir hann frá umfrymi. Hjúpurinn er úr tvöfaldri frymishimnu, en ytra byrðið er tengt flutningakerfi innan frumunnar, <i>frymisneti</i> (skammstafað ER). Hjúpurinn er settur örlitlum opum og fara stórar sameindir þar á milli kjarna og umfrymis; til dæmis fer mRKS út og prótín koma þar inn. Opin eru 30 til 100 nanómetrar að þvermáli og ná innri og ytri himnur hjúpsins saman umhverfis gatið. Umhverfis opin eru prótínlokur.
---	---

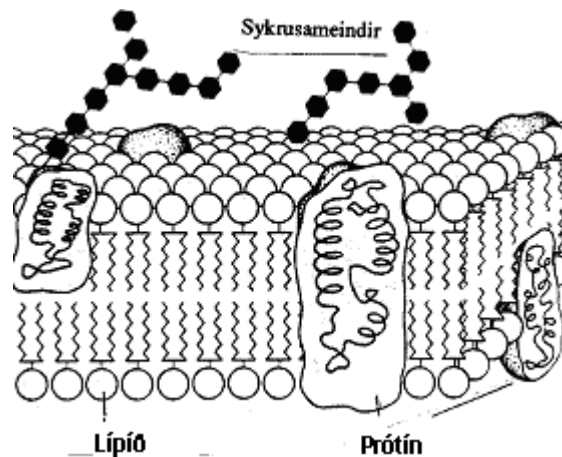
¹ Til eru tvær gerðir af kjarnsýrum, DKS og RKS, það er deoxyríbósakjarnsýra og ríbósakjarnsýra. Deoxyríbósi og ríbósi eru tegundir einsykurs. Oft eru notaðar ensku skammstafanirnar DNA og RNA.

Í kvoðulausnum eru allar agnir eins hlaðnar, + eða –. Hleðsla agnanna veldur því, að þær haldast frá hverri annarri á sveimi.	2.2.2 Umfrymi Allt efni utan við kjarna nefnist umfrymi. Ysta lag þess í öllum frumum er frumuhimna, en í plöntufrumum bætist frumuveggur úr <i>beðmi</i> (sellulósa) utan við frumuhimnuna. Aðeins örfáar dýrsfrumur hafa vegg (t.d. sum frumdýr) en hann er úr öðrum efnum. Einstakir frumuhlutar í umfrymi eru af ýmsum stærðum og gerðum. Þeir sinna hver sínu starfi í þágu frumunnar og lúta beint eða óbeint stjórn kjarnans. Hér verða aðeins hinir helstu taldir, en fyrst verður rætt um vatnslausn umfrymisins, svo nefnt <i>glærfrymi</i>. 2.2.3 Glærfrymi Vatnslausnin í umfryminu – glærfrymið – fyllir innra rúm frumunnar. Það er að 90 hundraðshlutum vatn með leystum jónum og litlum sameindum eins og sykrum, aínósýrum, fitusýrum, kirnum, vítamínum og leystum lofttegundum. Í því eru líka einstakir frumuhlutar, stórsameindir, eins og prótín, og lítið eitt af kjarnsýrunni RKS (ríbósa-kjarnsýru). Glærfrymið er dæmigerð kvoðulausn, það er að í vatninu eru á sveimi agnir (sameindir), sem hvorki leysast upp né setjast til botns. Þegar vatnsmagnið minnkar í frumu tengjast agnirnar saman og mynda þrívítt net í umfryminu. Glærfrymið er þá ekki lengur fljótandi vökvi (í sól-ástandi) heldur seigt og hlaupkennt líkt og síróp (í gel-ástandi), meðal annars í frumum, sem leggjast í dvala eins og í fræjum. – Í sumum frumum er ytri hluti umfrymis, <i>útfrymið</i>, í gel-ástandi en innri hluti þess, <i>innfrymið</i>, í sól-ástandi. Margs konar starfsemi fer fram í glærfryminu eins og sykurof og nýmyndun fitu- og aínósýrna. 2.2.4 Frumuhimna Frumuhimna lykur um sérhverja frumu og afmarkar hana gagnvart umhverfinu. Hlutverk himnunnar er margþætt. Meðal annars ver hún frumuna og temprar för efna út og inn með margvíslegum hætti. Snemma varð mönnum ljóst, að frumuhimna er eins konar samloka gerð úr tvöföldu lagi af <i>fosfólípíðum</i>. Fosfólípíð er stórsameind byggð úr glýseróli, sem er þrígilt alkóhól, tveimur fitusýrum og fosfórsýru. Á fosfólípíðsameind er glýserólíð nokkurs konar haus og hanga tvær fitusýrukeðjur út frá því eins og halar. Sameindirnar mynda samloku og raða sér þannig, að skautaðir hausarnir (vatnssæknir) snúa út en
---	--



Fosfólípíð

óskautaðir halarnir (vatnsfælnir) inn. Að auki eru tvö önnur fituefni í himnunni. Annað eru *glýkólípíð*, en þau eru lík fosfólípíðum; í stað »haussins« (glýseróls) eru sykrusameindir, sem mynda stutta keðju, ýmist beina eða greinótta, og skagar upp úr himnunni. Hitt fituefni er *kólesteról* í dýrsfrumu og náskyldir *sterólar* í plöntufrumum.



Á víð og dreif í frumuhimnunni eru prótín, sem annaðhvort ná í gegnum himnuna eða tengjast skautuðu hausunum ýmist á innra eða ytra borði himunnar. Síðast nefndu prótínin, það er þau, sem tengjast ytra borði frumuhinnar, eru flest glýkóprótín, en það eru prótín, sem tengjast sykrusameindum. Líkt og á glýkólípíðum standa sykrusameindir upp af ytra borði himunnar. Það má því með sanni segja, að frumuhimnur séu hjúpaðar sykri að utan.

Við líkamshita eru frumuhimnur þykkfljótandi svipað og plöntuolía. Því meira sem er af ómettuðum fitusýrum þeim mun þynnri er frumuhimnan. Af þessu leiðir, að frumur eru mjög sveigjanlegar og jafnframt, að sum prótínin í himnunni eru á floti en öðrum er haldið í skefjum með frymisgrindinni.

Sykrukeðjurnar frá glýkólípíðum og glýkóprótínum skaga upp úr frumuhimnu að utan og eru með ýmsu móti. Fjölbreytileikinn er mikill og er einkennandi fyrir hverja tegund, hvern einstakling og jafnvel fyrir hverja frumu. Eins er háttað með þau prótín, sem eru í frumuhimnunni. Þau eru af margvíslegum gerðum og gegna veigamiklum hlutverkum; meðal annars sem *gangprótín*, en þau hleypa völdum efnum í gegnum himnu, *burðarprótín*, sem ferja viss efni inn í frumu, *nemaprótín* með ákveðna þrívíða gerð, sem aðeins tiltekin efni falla að, og svo eru sum prótín *ensým*, sem hvetja efnahvörf.

Frumuhimna er gædd þeim eiginleika að geta hleypt sumum efnum í gegnum sig en öðrum ekki. Það eru ekki aðeins litlar sameindir eins og vatn og súrefni, sem komast greiðlega í gegnum himnuna. Stærri sameindir eins og glúkósi, fitusýrur, glýseról og jónir komast þar einnig í gegn. Þá er í frumuhimnu búnaður til þess að koma vissum efnum inn í frumurnar úr minni styrk í meiri. Frumur og þá jafnframt lífverur eru gæddar þeim

Staflaga þekjufruma með örtotum. Netkorn raða sér á RKS-þráðinn, sem flytur með sér heimildir um myndun prótína frá erfðaeefni í kjarna.	hæfileika að geta temprað upptöku efna eins og þeim er fyrir bestu. Af þessu leiðir meðal annars, að hlutfallslegt magn einstakra efna í lífverum er all frábrugðið því, sem er í umhverfinu. Í allmörgum frumum liggur frumuhimnan í fellingum og myndar svo nefndar <i>örtotur</i>. Þær eru einkum á frumum, sem eru sérhæfðar til þess að taka upp efni úr umhverfinu, eins og þekjufrumum í meltingarfærum. Í þeim frumum, sem hafa um sig vegg, svo sem öllum plöntufrumum og örfáum dýrsfrumum, á frumuhimna þátt í myndun hans. FRYMISHIMNUR. Í umfrymi allra frumna er þéttriðið net af himnum, sem stúka umfrymið niður í ólík svæði, svo að sérhver efnahvörf fari fram á ákveðnum stöðum, þar sem tiltekin ensým eru til staðar. Frymishimnur eru flestar meira eða minna samtengdar, en einnig losna frá þeim litlar himnuklæddar blöðrur eða bólur, sem losna frá þeim og ferðast úr einum stað í annan. Til frymishimna teljast frymisnet, golgíflétta, safabólur og blöðrur af ýmsu tagi. 2.2.5 Netkorn Netkorn (ríbósóm) eru meðal allra minnstu frumuhluta eða aðeins 20-30 nm að þvermáli. Fjöldi þeirra í frumu nemur að jafnaði hundruðum þúsunda. Þau eru gerð úr tveimur hlutum, öðrum stórum en hinum litlum, sem verða til í kjarnakornunum og raðast síðan saman úti í umfryminu. Þau eru að 60 hundraðshlutum úr RKS og 40 hundraðshlutum úr prótínunum. Netkornin eru nokkurs konar efnaverksmiðjur frumunnar, því að þar verða prótínin til eftir forskrift frá erfðaefninu. Sum netkorn eru áföst frymisneti (hrjúft frymisnet) en önnur eru laus í umfrymi. 2.2.6 Frymisnet Frymisnet, oft skammstafað ER, (endoplasmaticum reticulum) er nokkurs konar flutningakerfi eða óslitið himnukerfi, sem liggur djúpt í glærfryminu. Fyrir á árum var talið, að umfrymið væri aðeins vatnsblanda af lífrænum efnum og leystum söltum. Með endurbættum ljóssmásjám komust menn smám saman að því, að í umfrymi leynast einstakir frumuhlutar og að þar ríkti ákveðið skipulag. Með rafeindasmásjá tókst að sanna tilvist frymisnetsins. Það er sífellt á hreyfingu og svo virðist, að það
---	---



Myndin sýnir hvenig frymisnetið, sem ýmist er slétt eða kornótt (hrjúft), tengist kjarna; k: kjarni, kh: kjarna-hjúpur, n: netkorn, sf: slétt frymisnet og kf: kornótt frymisnet

myndist og eyðist eftir þörfum hverju sinni. Frymisnetið sér um flutning efna innan frumunnar frá einum stað til annars og tekur þátt í myndun vissra efna.

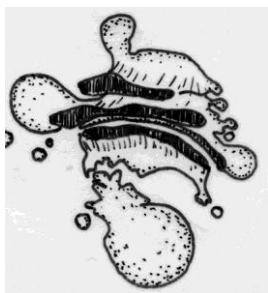
Hrjúft frymisnet er alsett hnöttóttum kornum, *netkornum* (ríbósómum). Það er víðfeðmt í prótínríkum frumum, enda sér netið um að flytja prótín, sem eru afurðir netkornanna.

Slétt frymisnet, það er án netkorna, er hins vegar áberandi í frumum, sem framleiða önnur efni en prótín, svo sem hormón, og fosfólípíð, sem mynda frumuhimnuna. Þá gerist það oft, að hluti af sléttu frymisneti snarast frá og myndar bólur, sem flytja stórar sameindir um umfrymið og jafnvel út í umhverfið. Kallast það *úthverfing*. Frumur, sem gefa frá sér hormón, ensým eða aðrar afurðir, seyta efnunum á þennan hátt út í umhverfið. Á líkan hátt geta frumur myndað bólu um eitthvert efni, sem leggst að frumuhimnunni og innbyrt það. Nefnist það *innhverfing*. Dæmi um innhverfingu eru annars vegar agnát en þá »gleypa« átfrumur gerla eða önnur stór efni og hins vegar frumudrykkja, þegar til dæmis rótarfrumur taka upp vatn og steinefni. Agnát sést í ljóssmásjá en frumudrykkja aðeins í rafeindasmásjá.

2.2.7 Golgíflétta

Ítalskur læknir, Camillo Golgi (1843–1926), tók eftir hlöðum af þéttum himnum, sem umlykja skállaga rúm, þegar hann fékkst við að lita taugafrumur á ofanverðri átjándu öld. Svipaðir himnustaflar sáust í ýmsum öðrum frumum, meðal annars kirtilfrumum. Lengi var fát um þá vitað, fyrr en unnt var að greina þá í rafeindasmásjá.

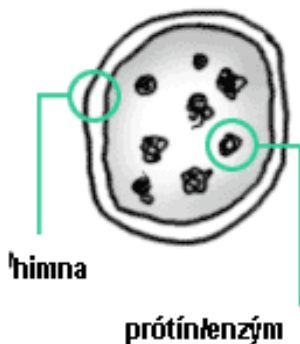
Ítalanum til heiðurs eru staflar þessir af flötum belgjum og bólum nefndir *golgíflétta*. Hér er um samtengt himnukerfi að ræða og streyma þangað bólur fullar af prótínum eða lípíðum frá frymisnetinu. Í þeim eru ensým sem tengja önnur efni við prótínin og lípíðin, svo að myndist glýkoprotín og glýkólípíð. Frá golífléttunni losna síðan *golgíbólur*, sem losa afurðirnar út í umfrymið eða koma þeim út að frumuhimnunni, sem seytir afurðum út í umhverfið sem kirtilvökva.



Golgíflétta með golgí-bólum.

2.2.8 Leysibóla

Það var ekki fyrr en 1950, að *leysibóla* uppgötvaðist og hlutverkið er ekki að fullu þekkt enn. Bólan losnar frá himnum golgífléttunar og í henni eru á milli 30 og 40 *ensým*, en það eru viss prótín, sem hvetja efnahvörf. Hlutverk leysibóla er ekki að fullu skýrt, en talið er, að þær geti eytt einstökum frumuhlutum (til dæmis eigin hvatberum), einstökum fæðuefnum, ýmsum úrgangi og öðrum óþarfa í frumunni, sem ef til vill kann að



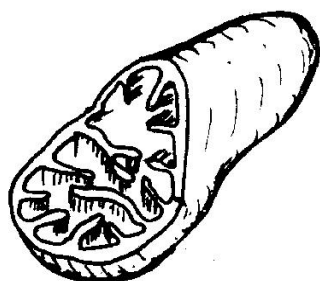
Gerð leysibólu.

berast inn í þær, meðal annars stórsameindum og gerlum. Því er oft haldið fram, að leysibólur geti deytt frumurnar sjálfar og hafa af því hlotið nafnið »sjálfmorðsbelgir«. Þetta er á misskilningi byggt, því að ensýmin í bólunum starfa best þar við sýrustigið pH 5, en í umfryminu er pH 7,2. Þó að ensým losni úr bólunum út í umfrymið, er virkni þeirra þar fremur lítil. – Bólurnar eru einkum áberandi í dýrsfrumum og eru 0,5-1,5 μm að þvermáli.

2.2.9 Örbólur

Ýmis efnahvörf fara fram í litlum bólum með einfaldri himnu, sem eru nauðalíkar leysibólum. Inni í þeim er lausn af ensýmum. Ensýmin verða til í óbundnum netkornum. Hvert þeirra hefur ákveðið merki (PTS), sem bindst við nema, sem fer með ensýmið inn í örbólurnar. Meðal annars eru til oxunarensým sem eyða fituefnum, svo að það myndast vetnisperoxíð (H_2O_2); þá kemur til annað ensým í örbólunum, katalasi, og brýtur H_2O_2 í vatn og súrefni. Í öðrum bólum fer fram myndun á kólesteróli og niðurbrot á niturbösum. Bólurnar, sem þetta gerist í nefnast oft *oxunarbólur*. Í plöntufrumum eru líka svipaðar bólur, *sætabólur*, og í þeim ensým sem breyta fitusýrum í sykrur; á þetta sér stað í fræi, sem er að byrja að spíra. Í frumum laufblaða eru líka sætabólur og fara fram í þeim efnahvörf, sem eru andstæð ljóstillífun, það er að segja nota súrefni og losa koltvíoxíð.

2.2.10 Hvatberi

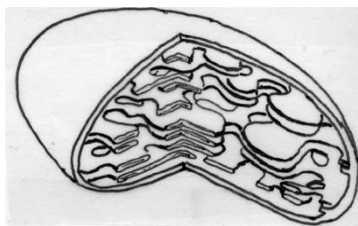


Hvatberi (að hluta skorinn). Innri himnan liggur í fellingum og á milli þeirra er að finna bæði netkorn og DKS.

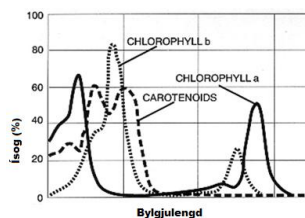
Þá er að geta um *hvatbera* (kyndikorn), nokkurs konar orkustöðvar frumunnar, en það er staflaga frumuhluti, um 0,5 μm að þvermáli og allt að 2-7 μm á lengd. Þar fer frumuöndun fram eða bruni öðru nafni, en þá losnar orka úr fæðuefnunum. Í frumum, þar sem bruni er ör (til dæmis í hjarta og í flugvöðvum skordýra), eru hvatberar margir.

Hvatberi er þakinn tvöfaldri himnu. Innri himnan liggur öll í fellingum (»krista«), sem eykur mjög yfirborð hennar, og þar er að finna ótal prótín sem taka þátt í sykrusundruninni (orkulosuninni), sem leiðir til myndunar á orkuríkum samböndum (ATP) við ferli öndunarefnaskipta, sem nefnist *sítrónusýruhringur* (Krebs-ferli).

Í hvatberanum miðjum eru netkorn, ensým og erfðaeefni (DKS), sem er frábrugðið því, sem er í kjarnanum. Margt í gerð



Grænuhorn (að hluta skorið).



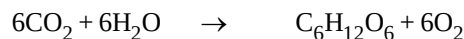
Ísogsgraf blaðlitarefna.

og starfsemi hvatbera er líkt og í ákveðnum gerlum. Því hefur verið haldið fram, að hvatberar hafi þróast úr gerlum, sem hafa tekið sér bólfestu í heilkjarna frumu.

2.2.11 Plastíð

Í frumum plantna eru svo nefnd *plastíð*, en þau eru af þremur gerðum: *hvítorn*, *litorn* og *grænuhorn*. Hvítornin eru meðal annars í rótum og geyma forðanæringu (mjölva), einnig taka þau þátt í myndun olíu og prótína, í litornum eru rauð og gul litarefni og þar myndast karótínefni; og í grænuhornum er laufgrænan. Þessi horn geta auðveldlega breyst úr einni gerð í aðra, enda eru þau öll af sömu rót. Til að mynda verða hvítorn í kartöflum að grænuhornum, ef ljós skín á þær.

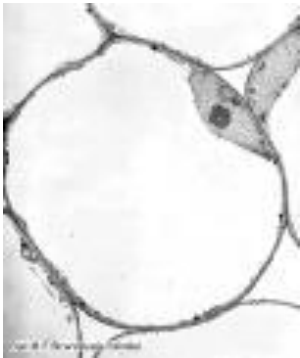
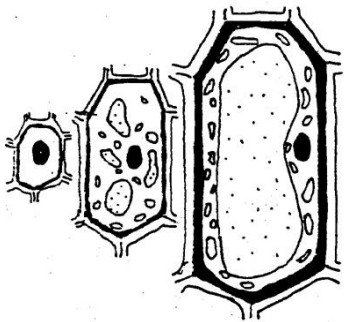
Grænuhornin eru klædd tveimur himnum líkt og hvatberar. Inni í grænuhornunum er þriðja himnan, sem myndar þar stafla af hringlaga diskum, sem mynda samfelld himnukerfi. Þar er græna litarefni plantnanna, *laufgrænan*, og þar fer fram myndun lífrænna efna (þrúgusykurs) úr ólífrænum. Lífverur, sem hafa í sér grænuhorn eru *frumbjarga*, sem merkir, að þær geta framleitt öll lífræn efni, sem þær þurfa, úr ólífrænum efnum. Efnaferlið þarfnast ljóss sem orkugjafa og er nefnt *ljóstillífun*. Það má tákna þannig:

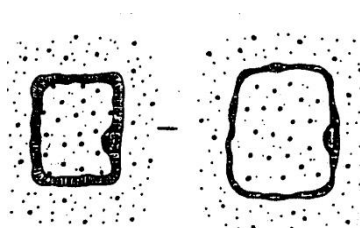


Laufgræna er til af nokkrum gerðum og er munurinn fólgin í lítið eitt mismunandi sameindagerð efnanna eða ólíkri niðurröðun atóma. Í frumbjarga heilkjörnungum og blágerlum er *a* laufgræna, sem er meginlitarefnið. Hlutverk hennar er að fanga orku ljóssins og nota orkuna sem aflvaka til þess að knýja efnahvörf.

Laufgræna *a* beislar aðeins vissar bylgjulengdir ljóss. Til þess að nýta sem flestar rafsegulbylgjur ljóssins koma til ýmis *hjálparefni* að auki, sem fanga aðrar bylgjulengdir. Við ljós örvast sameindir og orkan, sem í þeim felst, flyst yfir á *a* laufgrænu, sem breytir henni smám saman í efnaorku. Í vefplöntum, grænþörungum og dílþörungum er hjálparefnið *b* laufgræna. Í brúnþörungum og kísilþörungum kemur *c* laufgræna í stað *b* gerðar og rauðþörungar hafa auk *a* laufgrænu lítið eitt af *d* laufgrænu. Af öðrum hjálparefnum má nefna *karótínefni* (karótín og xantófill) og *fúkobílín* (í rauðþörungum og brennisteinsgerlum)

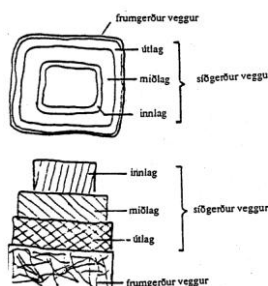
Grænuhornin eru 4-6 μm að þvermáli og 1-5 μm að lengd og er fjöldi þeirra í frumu allt að hundraði en þó vart meira en 8% af rúmmáli frumu. Í venjulegu laufblaði eru um 500'000 grænuhorn á mm^2 en til að gefa örlitla hugmynd um stærðina má geta þess, að um 10'000 grænuhorn kæmust fyrir í

 Safabóla getur verið um 90% af rúmfangi frumu.  Eftir því sem plöntufruma þroskast stækkar safabólan í henni.	punktinum í lok þessarar málsgreinar. Í hvítkornum myndast forðasykran mjölvi úr þrúgusykri (glúkósa) og í litkornum myndast ýmis önnur litarefni, sem mikið er af í blómum og aldinum eins og tómötum. <i>2.2.12 Safabóla og osmósa</i> Þess var getið hér að framan, að megininnihald hvernar fullvaxta plöntufrumu væri oftast stór <i>safabóla</i>, allt að 90%. Hið lifandi efni frumunnar, frymið, er þá aðeins örmjó ræma meðfram frumuveggnum. Í þessum safabólum eru ýmis lífræn og ólífræn efni, sem geta komið frumunni að gagni og valdið henni tjóni einnig. Sem flestir vita er safi í sítrónum mjög súr, en hann er í safabólunum. Oft getur súr safi reynst frumunum skeinuhættur, ef bóllurnar springa. Safabólan gegnir mikilvægu hlutverki í vatnsbúskap frumunnar og plöntunnar í heild. Í safanum eru ensým, sem sundra skaðlegum efnum og því gegnir bólan líku hlutverki og leysibóla. Þegar vatn í frumum minnkar að ráði dregur verulega úr allri starfsemi þeirra. Margar plöntutegundir, einkum ýmsir þelingar og mosar, þola þurrk mætavel, en æðaplöntur deyja oftast, þegar eðlilegt vatnsmagn minnkar um helming eða meir. Í flestum dýrsfrumum eru litlar eða engar safabólur, nema í sumum einfrumungum í fersku vatni eru svo nefndar <i>herpibólur</i>. Dýr þola vatnsmissi því miklu verr en plöntur og oft er meira en 15% vatnstap úr frumum dýrunum hættulegt. Allar frumur taka upp vatn við ferli, sem nefnist <i>osmósa</i>, en svo nefnist flutningur vatns í gegnum hálfgegndreypa himnu. Vatnið streymir þá úr veikri lausn yfir í sterkari, þar til lausnirnar eru orðnar jafnsterkar (jafnþrýstnar) báðum megin himnunnar, svo framarlega sem ekkert hindrar flæðið. En eins og áður sagði kemst vatn mjög greiðlega í gegnum þessar hálfgegndreypu himnur. Ef plöntufruma er sett í lausn með lægri styrk leysta efna en í frumunni sjálfri, t.d. hreint vatn, leitar vatn inn í frumuna og hún þenst út. Að því kemur að frumuveggurinn, sem er örlítið teygjanlegur, spyrnir á móti og hámarks <i>safaspennu</i> er náð, þegar meira vatn kemst ekki inn í frumuna. Styrkur efna í safabólu ræður mestu um það, hve mikil safaspennan verður, þegar jafnvægi er náð í ákveðinni lausn. Sú safaspenna, sem myndast, þegar fruma er sett í vatn, nemur oft sinnis um 10 kg/cm². Ástæðan fyrir því, að fruman springur ekki, er hinn geysimikli styrkur frumuveggjar, sem heldur utan um frumuna. Þessi mikla vökvaspenna á þátt í því, að hinir mýkri hlutar plöntunnar falla ekki saman og gerir stoðgrindarkerfi í plöntum óþarft. Þegar plöntufruma er sett í lausn með miklu meiri styrk leysta efna en í frumunni sjálfri, leitar vatn út úr frumunni.
---	--



Til vinstri: Fruma sett í lausn með lægri styrk leysta efna en í frumunni sjálfri.

Til hægri: Að stundu liðinni hefur vatn streymt inn í safabólu frumunnar og fruman þenst út og teygir á frumuveggnum.



Frumuveggur. Efri mynd sýnir þverskorna viðaræð en hinni neðri er æðin séð á hlið.

Safaspennan minnkar óðfluga, þrýstingi léttir á frumuvegginn, sem dregst lítið eitt saman, svo að fruman minnkar örlítið. Þá heldur frymið áfram að dragast saman og að því kemur, að frumuhimnan rifnar frá veggnum og nefnist það *frymisrof*. Sé fruman sett aftur í veikari lausn endurheimtir frymið fyrri lögun sína og þrýstir á ný út í vegginn, svo framarlega sem varanlegar skemmdir hafa ekki orðið.

Vert er að veita því athygli, að það er frymið, umlukt frumuhimnu, sem dregst saman, en ekki frumuveggurinn. Það sýnir, að það er frumuhimnan, en ekki veggurinn, sem er hálfgegndreypt og stuðlar að osmósu. Frumuveggurinn er sjaldnast nokkur hindrun enda hleypir hann flestum efnum greiðlega í gegn um sig.

2.2.13 Frumuveggur

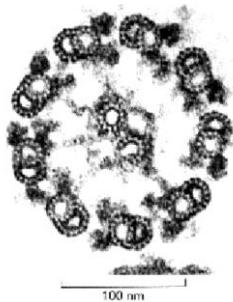
Plöntufrumur eru að því leyti ólíkar dýrsfrumum, að utan um þær er þykkur veggur. *Frumuveggurinn* er lífvana efni, sem myndast úr frumunni sjálfri. Aðalefnið í honum er *beðmi* (sellulósi; myndað af orðinu baðmur, tré). Beðmið er risastór fjölsykra, byggð úr þúsundum af þrúgusykurseiningum (glúkósa).

Beðmið myndar vöndla úr örtrefjum, sem sjást aðeins í rafeindasmásjá, en styrkurinn er sem stáls. Þó að fruman lengist, heldur veggurinn þykkt sinni, því að örtrefjar halda stöðugt áfram að myndast. Þegar vexti er lokið, raðast örtrefjarnar í stórtrefjavöndla, sem sjá má í venjulegri smásjá.

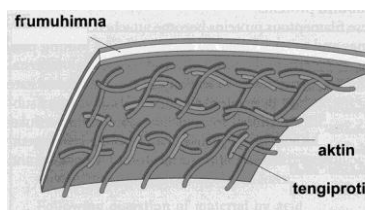
Í fyrstu, þegar fruman er í örum vexti, er veggurinn þunnur og mjúkur og komast vatn og uppleyst efni greiðlega í gegnum hann. Að auki eru í veggnum ýmis ensým og önnur prótín, sem örva vöxt frumu og vernda hana gegn sjúkdómum. Síðan þykknar hann smám saman, því að hvert lagið af öðru bætist við innra borð hans. Þegar fruman er fullvaxin setjast aðrar fjölsykrur oft í vegginn, eins og hálfbeðmi og lignín eða tréni öðru nafni, en samt er um helmingur af massa veggjarins vatn, sem er fast bundið. Þá eru þar ýmis vaxefni, eins og *kútín* og *súberín*, sem stuðla að bindingu vatnsins. Hver fruma lokast þó ekki algjörlega af inni í veggnum, því að vissir hlutar hans þykkna ekki. Þar helst greiður samgangur á milli einstakra frumna.

2.2.14 Svipur og bifhár

Margar frumur eru búnar hreyfipráðum, sem nefnast *svipur*, ef þeir eru langir (um 150 μm) og fáir, en *bifhár*, ef þeir eru stuttir (um 10 μm) og margir. Oft er því svo háttað á frumum, að svipur eru fáar en bifhár mörg, en frá því eru æði margar



Þverskorið bifhár.



Prótíntréfar klæða innra borð frumhimnu.

undantekningar. Þræðirnir eru nánast eins byggðir, hvort heldur það eru svipur eða bifhár. Innan við ytri himnu, sem er áframhald frumhimnunnar, eru 9 tvöfaldir trefjaþræðir í hring utan um 2 miðsætta trefjunga (kallast 9+2). Þræðirnir ná niður í grunnkorn sem er í umfrymi og frá því liggja örþræðir í allar áttir.

Frumur annaðhvort með svipur eða bifhár koma fyrir hjá öllum hópum lífvera nema í svepparíkinu. Brádýr afla sér fæðu og hreyfa sig með bifhárum en svipudýrin með svipum. Sáðfrumur eru yfirleitt með eina svipu

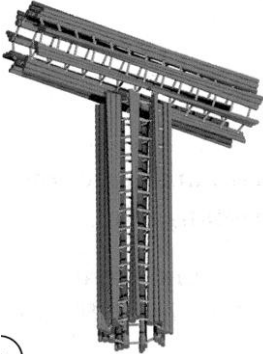
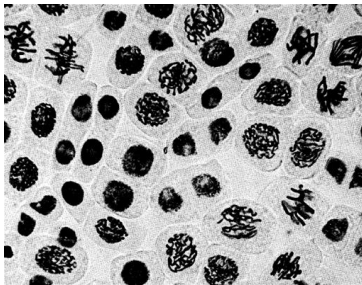
2.2.15 Frymisgrind

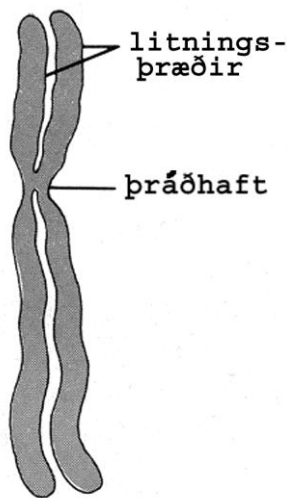
Í heilkjarna frumum er frymisgrind í umfrymi frá kjarna út að frumhimnu. Grindin er byggð úr prótínum og var ekki uppgötvuð fyrr en á áttunda áratug tuttugustu aldar með nýrri gerð af rafeindasmásjám. Frymisgrindin gegnir svipuðu hlutverki og beinagrind og vöðvar, sem halda uppi líkðum dýra. Á hinn bóginn getur grindin breytst á stuttri stundu, jafnvel örfáum sekúndum. Stuttu áður en fruma skiptir sér hverfur grindin en birtist svo aftur sem spólþræðir og eftir þeim ferðast litningarnir að hvoru skauti frumunnar. Að lokinni skiptingu eyðast spólþræðirnir en frymisgrindin rís aftur. Frymisgrindin er byggð úr þremur gerðum af prótínum, *örtrefjum*, *örþráðum* og *örpíplum*.

Örtrefjarnar eru langar en afar mjóar (aðeins um 7 nm að þvermáli). Þræðirnir eru úr kúlupróttíninu aktíni, sem myndar langar keðjur; síðan vefjast tveir slíkir þræðir saman og mynda trefjarnar. Örtrefjarnar mynda þéttriðið net undir frumhimnu og móta lögun frumu; þá liggja þær út í örtotur og eiga án efa þátt í því, að örtotur í meltingarfærum lengjast og styttest á víxl; á sama hátt stuðla trefjarnar að hreyfingu skinfóta á teygjudýrum (amöbum). Í plöntufrumum mynda örtrefjar rásir, sem grænkorn streyma um. Kunnastar eru þó örtrefjarnar í vöðvafrumum, en þar stuðla þær að hreyfingu vöðvafrumna.

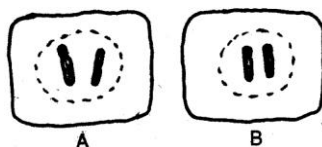
Örpíplur eru holir sívalningar, um 25 nm að þvermáli og 0,2-25 μm á lengd, byggðir úr próttíninu *túbúlíni*. Myndun örpíplnanna er undir stjórn geislaskauts, sem liggur nærri kjarnanum. Örpíplur ráða nokkru um innri byggingu frumna og mynda leiðir, sem ýmsir frumuhlutar fara eftir, meðal annars bólur, sem losna frá frymisneti.

Örþræðir eru að sverleika mitt á milli örtrefja og örpíplna (8-11 nm að þvermáli). Þeir eru úr þráðlaga próttínum eða fjölpeptíðum og byggðir líkt og kaðlar. Þeir eru meðal annars til styrktar kjarnahjúpi og frumhimnu. Í húð eru örþræðir, *keratín*, sem gefa henni teygjanlega eiginleika.

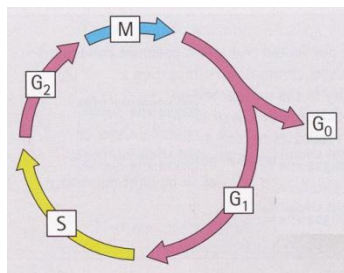
 Deilikorn eru tvö, hornrétt hvort á annað.	2.2.16 Deilikorn Deilikorn er sívalningur af svo kallaðri 9+0 gerð, það er úr níu þreföldum trefjaþráðum, sem mynda hring en með engan þráð í miðju. Í öllum dýrsfrumum og flestum frumverum eru tvö deilikorn, hornrétt hvort á annað við geislaskautið. Áður en dýrsfruma skiptir sér tvöfaldast deilikornin og liggja hornrétt hvort á annað í hvoru deilikorni. Við upphaf mítósu skiljast deilikornin að og fara hvort í sinn enda frumunnar og kallast þá geislaskaut. Síðan taka að vaxa holar örpíplur úr prótínunum frá kornunum að miðlagsfleti frumunnar og mynda spólubræði, sem tengjast litningum. Hvort par verður hluti af aðskildum geislaskautum.
 Frumur í vaxtarvef í rót á mismunandi stigum mítósu.	2.3 Kjarna- og frumuskiptingar 2.3.1 Litningar Lífvera getur verið frá einni frumu til billjóna frumna. Í raun er ekki ýkja mikill eðlismunur hér á. Allar lífverur eru komnar af einni frumu, móðurfrumu, sem byrjar að fjölga sér. Detti afkvæmisfrumurnar eða dótturfrumurnar í sundur að lokinni skiptingu, verða til einfrumungar, en loði þær saman myndast fjölfrumungur. Áður en fruma skiptir sér tvöfaldast erfðaeefnið í henni og deilist jafnt á milli dótturfrumna. Þær eru því jafnan eins að gerð og móðurfruman. Erfðaeefnið DKS tengt prótínunum nefnist litni, eða dreiflitni öðru nafni. Í því eru fólgnar heimildirnar um gerð og störf sérhverrar frumu. Dreiflitnið sést illa eða alls ekki í ljóssmásjá. Hins vegar bregður svo við, þegar fruma byrjar að skipta sér, að dreiflitnið þéttist, dregst saman og myndar litlausa, granna þræði, þéttlitni eða litninga öðru nafni. Nafnið er tilkomið vegna þess, að eina leiðin til þess að koma auga á litninga í smásjá, er að lita þá með sérstökum efnum, þegar fruma er að skipta sér. Vert er að vekja athygli á því, þegar myndir af litningum eru skoðaðar við upphaf frumuskiptingar, að hver litningur hefur tvöfaldast og er því í raun tveir litningsþræðir, sem loða saman. Einstakar erfðaheimildir í litningunum nefnast gen. Hvert gen hefur áhrif á eitt eða mörg einkenni í gerð og fari hverrar



Myndin sýnir tvöfaldaðan litning.



Fruma A er einlitna, $n = 2$; fruma B er tvílitna, $2n = 2$.



Æviskeið frumu.

frumu. Því fer fjarri, að mönnum hafi tekist að finna öll gen í litningum, hvorki í líkamsfrumum manna né öðrum lífverum. Fjöldi gena er þess vegna óþekktur. Á hinn bóginn er fjöldi litninga í frumum mjög vel þekktur. Hann er á bilinu einn til fimm hundruð. Litningar eru misstórir, en meginreglan er sú, því fleiri sem þeir eru þeim mun styttri eru þeir. Í líkamsfrumu manns eru 46 litningar en í bananafluglu, *Drosophila melanogaster*, eru átta litningar. Fyrir því hve þeir eru fáir, eru þeir tiltölulega stórir, og hefur það auðveldað rannsóknir á þeim.

2.3.2 Einlitna og tvílitna

Mergurinn málsins er ekki sá, hve margir litningarnir eru, heldur hvort fruma er einlitna eða tvílitna. Sú fruma er sögð vera einlitna, sem hefur aðeins einn litning af hverri gerð. Þetta er táknað með bókstafnum n ásamt fjölda litninga; til að mynda $n = 23$ eða $n = 6$. Á hinn bóginn er tvílitna hver sú fruma, sem hefur tvo litninga af hverri gerð, og kallast þeir samstæðir litningar. Annar er ættaður frá móður en hinn frá föður. Það er táknað með $2n$ ásamt fjölda litninga; svo sem $2n = 46$ eða $2n = 6$. Af þessu leiðir, að fruma, sem er $n = 6$ hefur sex mismunandi litninga, en fruma, sem er $2n = 6$ hefur aðeins þrjár gerðir litninga, tvo og tvo eins eða þrjár samstæður.

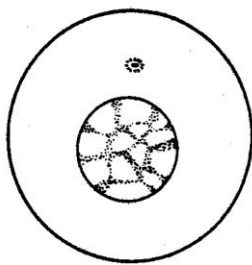
Þá eru ýmsar frumur fjöllitna, $3n$, $4n$ og svo framvegis. Um þær verður fjallað í erfðafræði.

2.3.3 Mítósa

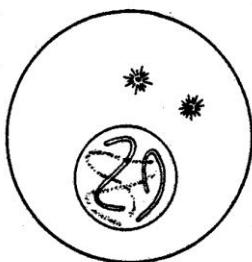
Í lífi frumu má greina nokkur skeið. Á fyrri vaxtarskeiði (G_1) lifir og hrærist fruman í umhverfi sínu. Sumar frumur hafa misst hæfileika til þess að fjölga sér eða búa við svo léleg skilyrði, að skortur er á tilskildum næringarefnum; þær eru óvirkar (G_0). Nái fruma hins vegar að safna nægum forða úr umhverfinu, tekur hún að nýmynda efni, sem hún þarf á að halda til þess að skipta sér í tvennt. Mikilvægast þessara efna er erfðaeefnið (litningarnir), sem verður að tvöfaldast. Þetta gerist á nýmyndunarskeiði (S). Þá tekur við síðara vaxtarskeið (G_2), sem stendur fremur stutt. Við lok þess hefst fjölgunarskeiðið (M), en þá aðskiljast hinir tvöfölduðu litningar. Þegar kjarnaskiptingu (mítósu) er lokið, myndast skil, frumuhimna, á milli kjarnanna. Þá er plöntufrumur eiga í hlut, myndast veggur að auki. Ýmist skiljast dótturfrumur alveg að og verða að tveimur sjálfstæðum frumum eða þær loða saman, sem hluti af stærri heild, sem vex. Frumuskiptingu er lokið.

Í raun er skipting frumu tvíþætt. Fyrst skiptist kjarninn og síðar skiptist umfrymið. Skipting kjarnans nefnist *mítósa* en skipting umfrymis *cytokinesis*. Yfirleitt er þó orðið mítósa látið ná yfir báðar skiptingarnar. Þá eru öll skeið á milli

	fjölgunar skeiðsins (mítósu) oft nefnd einu nafni vaxtarskeið eða <i>interfasi</i>. Eins og sagt verður frá síðar, gerist það oft í sumum lífverum, að einn kjarni skiptir sér æ ofan í æ innan sömu frumu, svo kölluð margskipting. Smám saman myndast veggur eða hýði um kjarnana og þeir sleppa út sem einhvers konar fjölgunarfrumur. Skal nú í stuttu máli lýsa mítósu nokkru nánar. Venja er að skipta henni í fjögur stig eða fasa: prófasa, metafasa, anafasa og telófasa. Ekki eru glögg mörk á milli fasanna. PRÓFASI: Dreiflitnið breytist í þéttlitni, granna þræði, litninga, sem smám saman gildna og styttest nema á einum stað haldast þeir grannir, við svo kallað þráðhaft. Litningarnir eru þegar tvöfaldaðir og loða helftirnar, litningsþræðir, saman. Þeir eru dreifðir um kjarnann en smám saman hverfur kjarnahjúpurinn (frá því eru örfáar undantekningar eins og síðar verður getið) og litningarnir leita að miðbaugsfleti frumunnar. Það gera þeir vegna þess, að þvert á miðbaugsflötinn ganga margir prótínþræðir, svo kölluð spóla, sem myndast og sameinast til beggja enda í tveimur skautum. Sumir þráðanna ganga í gegnum þráðhöft litninga og þar raðast þeir á. Prófasa er lokið. METAFASI: Hann stendur stutt yfir eða aðeins þann tíma, sem litningarnir eru á miðri spólunni. ANAFASI: Þráðhaftið rofnar, litningsþræðirnir falla í sundur og ferðast eftir spólupráðunum í átt að hvoru skauti frumunnar. Segja má, að nú sé litningsþráður aftur orðinn að sjálfstæðum litningi. Þegar litningarnir hafa náð að skautunum lýkur anafasa. TELÓFASI: Í síðasta fasanum breytast litningarnir úr þéttlitni í dreiflitni, með öðrum orðum litningarnir hverfa sjónum okkar í ljóssmásjá og tveir nýir kjarnahjúpar myndast. Mítósu er lokið. Þegar mítósu er um það bil að ljúka, það er í lok anafasa eða byrjun telófasa, skiptist umfrymið við það, að nýjar frumuhimnur (og veggur, þegar það á við) myndast. Prótínþræðirnir, eða spólan öðru nafni, sem koma í ljós um miðjan prófasa, verða til út frá tveimur deilikornum, sem aðskiljast og eru fyrir utan kjarnahjúp á milli skiptinga. Reyndar eru engin deilikorn í vefplöntum og mörgum frumverum, en spóla myndast þar eigi að síður. Við skiptingu fær hvor dótturfruma nákvæm-lega sama fjölda litninga. Ekki er jafn nauðsynlegt, að aðrir frumuhlutar skiptist jafnt, því að hinar nýmynduðu frumur geta síðan sjálfar nýmyndað alla aðra frumuhluta eftir þörfum samkvæmt heimildum eða genunum í litningunum hvenær sem er á milli skiptinga, það er á vaxtarskeiði eða í interfasa, eins og það stig nefnist.
--	--



vaxtarskeið frumu



snemma í profasa



miður profasi

Mítósa (sjá framhald á næstu síðu).

Allar heilkjarna frumur, bæði einlitna og tvílitna, geta skipt sér mítósu. Þar á er enginn munur. Vert er og að veita því athygli, að móðurfruman hverfur við skiptinguna og verður að tveimur nýjum frumum, sem reyndar eru helmingi minni. Síðan taka þær að vaxa og þegar ákveðinni stærð við réttar aðstæður er náð, geta þær hvor um sig gengið í gegnum endurnýjun lífdaga á sama hátt og móðurfruman forðum.

Við fjölgun frumna með mítósu ganga allar erfðir óskiptar frá einni frumu til tveggja annarra. Hér á verður engin breyting, nema til komi stökkbreyting, en það er fyrirvaralaus breyting, sem verður á erfðaefni. Á stundum verður stökkbreyting til góðs en í flestum tilvikum eru stökkbreyttir einstaklingar lakar settir í lífinu en aðrir.

(Sjá: <http://www.cellsalive.com/mitosis.htm> og

http://trc.ucdavis.edu/biosci10v/bis10v/media/ch07/mitosis_quiz.html)

2.3.4 Meiósa

Til þess að vinna að því að uppstokkun verði á erfðaefni öðru hverju og stuðla þar með að aukinni fjölbreytni innan tegundar, renna saman kjarnar úr tveimur einstaklingum eða kjarnar úr tveimur þar til gerðum frumum, svo nefndum kynfrumum.

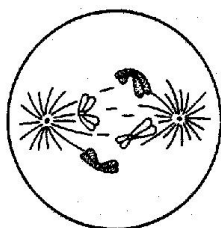
Skilyrði fyrir þessu er það, að frumurnar sem saman renna, séu einlitna (n). Við það verður til ný tvílitna fruma ($2n$). Ýmsir kostir fylgja því fyrir lífveru að vera tvílitnangur. Meðal annars eru tvö gen af hverri gerð í stað eins; fyrir því eru minni líkur á, að erfðaheimildir misfarist eins og við stökkbreytingar.

Af þessu er ljóst, að sérhver tvílitnangur verður að geta myndað einlitna frumur. Meiósa er einmitt fólgin í því, að til verða einlitna frumur úr tvílitna. Það eru því einungis tvílitna frumur, sem geta skipt meiósu.

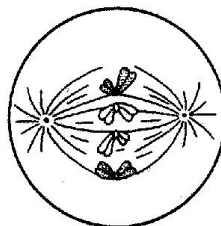
Meiósa minnir um margt á mítósu. Nöfn fasanna eru hin sömu og sömu frumuhlutar koma við sögu. Á hinn bóginn er meiósa tvær frumuskiptingar í röð: meiósa I og meiósa II. Það er einkum meiósa I, sem er frábrugðin mítósu, en meiósa II er í raun venjuleg mítósa.

Enn skal það ítrekað, að það eru aðeins tvílitna frumur, sem geta skipt meiósu. Dótturfrumurnar í lokin verða ekki tvær heldur fjórar einlitna frumur.

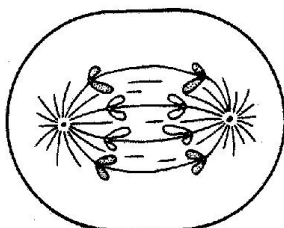
MEIÓSA I: Hún hefst á prófasa I, sem í upphafi er nákvæmlega eins og í mítósu, það er litningar þéttast og gildna og koma tvöfaldaðir í ljós. Á hinn bóginn raðast þeir upp á spólu þannig, að samstæðir litningar (samtafs fjórir litningsþræðir) loða saman og raðast upp á prótínþræði í spólunni. Samstæðir litningar, sem loða saman, kallast tvígildi. Í metafasa I hafa tvígildin raðað sér í miðbaugsflötinn. Þegar kemur að anafasa I leysast tvígildin í sundur, svo að samstæðurnar ferðast að sínu skautinu hvor, en



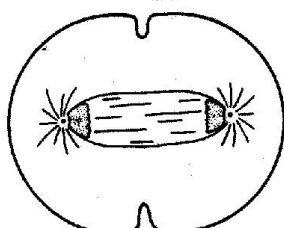
seint í profasa



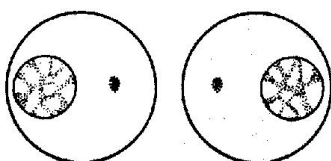
metafasi



anafasi



telofasi



tvær afkvæmisfrumur

Mítósa.

litningarnir leysast ekki um þráðahöftin. Strax í lok anafasa I skiptir umfrymið sér í tvennt og þegar í upphafi telófasa I eru komnar tvær einlitna frumur.

Algennt er, að meiósa II taki strax við, falli meira að segja saman við telófasa I.

MEÍÓSA II: Við upphaf meiósu II eru nú komnar tvær frumur og litningar þegar tvöfaldaðir; prófasi II tekur skamman tíma og litningarnir raða sér á spóluna miðja í miðbaugsfleti í metafasa II. Í anafasa II hefst aðskilnaður litningsþráða, svo að tvöfaldaðir litningar losna í sundur og verða að sjálfstæðum litningum. Kjarnaskiptingu lýkur með telófasa II og umfrymið hefur skipst einnig. Af einni tvílitna frumu hafa nú komið fjórar einlitna.

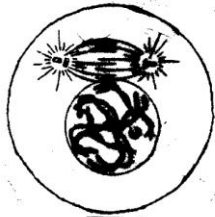
Hvað síðar verður um þessar einlitnu frumur, er háð því hvaða lífverur eiga í hlut. Í vefdýrum verða til kynfrumur, egg- og sæðfrumur; þær renna síðan saman við ferli, sem nefnist frjóvgun, og úr verður tvílitna fruma, okfruma, sem skiptir sér síðan mítósu og verður að nýju vefdýri. Í vefplöntum verða kynfrumur ekki til við meiósu, heldur við mítósu á einlitna frumum, sem nokkru áður urðu til í plöntunum við meiósu. Í frumverum og sveppum er þessu háttað með ýmsu móti og í dreifkjörnungum verður hvorki mítósa né meiósa.

2.4 Æviskeið og ættliðaskipti

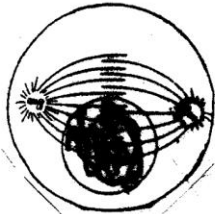
Áður en lengra er haldið, er nauðsynlegt að gera sér grein fyrir því, að skipta má æviferli nær allra lífvera í tvö skeið, einlitna skeið og tvílitna skeið. Með öðrum orðum má orða þetta svo, að nær allar lífverur birtist í tveimur gervum, annars vegar sem einlitnangur og hins vegar sem tvílitnangur. Önnur nöfn fyrir sömu skeið eru kynliður fyrir einlitna skeiðið og gróliður fyrir tvílitna skeiðið.

Lífvera fer af einlitna skeiði yfir á tvílitna skeið með því að tvær einlitna frumur renna saman, með öðrum orðum við frjóvgun. Á hinn bóginn fer lífvera af tvílitna skeiði yfir á einlitna skeið við meiósu.

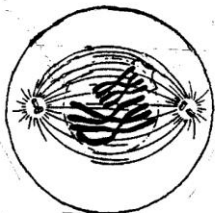
Með æviskeiði er jafnan átt við tímann frá vöggu til grafar eins og sagt er. Hins vegar má færa rök fyrir því, að æviskeið sé annað og lengra, því að fruma verður aðeins til úr frumu (*omnis cellula e cellula*) og að lífið sé ein samfelld keðja atburðarásar. Hugsu menn sér einlitna einfrumung, sem býr við góðar aðstæður, skiptir hann sér og verður að tveimur frumum innan tíðar. Sú spurning vaknar, hvort hér séu komnir tveir nýir einstaklingar eða hvort hér sé hinn sami einstaklingur á ferð og áður en í tveimur eintökum. Slíkum spurningum sem þessum verður ekki svarað hér, en engu að síður áhugavert að velta þeim fyrir sér.



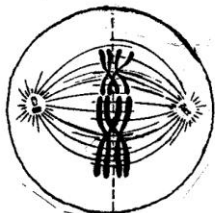
Snemma í prófasa I.



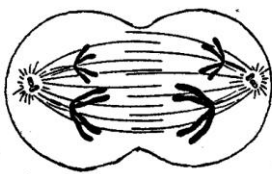
Miður prófasa I.



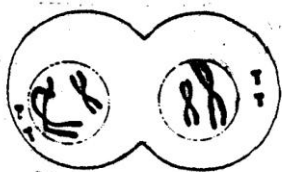
Seint í prófasa I.



Metafasi I.



Anafasi I.



Telófasi I og frumuskipting.

Meiósá I

2.4.1 Einlitna æviskeið

Áður hefur verið sagt, að okfruma sé tvílitna fruma, sem verður til við frjóvgun, það er samruna tveggja einlitna kynfrumna. Mjög algengt er meðal frumvera, einkum ein- eða fáfrumunga, að meiósa verði á okfrumunni. Þá koma fram einlitna frumur, sem verða að fullþroska einstaklingum, ýmist við frekari þroska eða mítósu. Mjög algengt er, að þykkur hlífðarveggur myndist um okfrumuna og hún liggi í dvala yfir veturinn. Kallast hún þá okgró.

Allur frekari vöxtur einlitnunga fer fram við mítósu. Oft mynda þeir sérhæfðar frumur, grófrumur, sem geta orðið að nýjum einstaklingum. Grófrumur þessar kallast líka mítósugró. Grófrumurnar stuðla mjög að víðfeðmri útbreiðslu í formi kynlausrar æxlunar.

Enn aðrar einlitna frumur geta orðið til við mítósu í einlitnungi. Þær eru jafnan minni en grófrumur vegna tíðari skiptinga kjarna innan einnar frumu. Þessar frumur eru gæddar þeim eiginleikum að geta runnið saman tvær og tvær, svo að okfruma myndist. Þær eru því rétt nefndar kynfrumur. Fátt er um það vitað, hvað veldur því, að eina stundina myndist grófrumur og hina kynfrumur. Þó er hallast að því, að ýmsir þættir í umhverfi, svo sem lágur hiti, lítið ljós og fleira, kalli fram kynfrumumyndun, enda er hún tíðust undir haust.

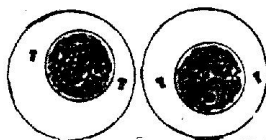
Í stuttu máli er lífi einlitnunga háttáð þannig, að einlitna skeiðið, kynliður, er yfirgnæfandi á æviferlinu. Gróliðurinn er einungis bundinn við okfrumu, sem oft liggur í dvala langan tíma áður en meiósa verður.

2.4.2 Tvílitna æviskeið

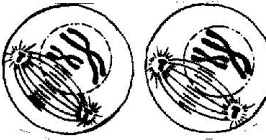
Meðal margra lífvera, eins og vefðýra, stórvaxinna þörungna og frumdýra, svo að dæmi séu nefnd, verður engin meiósa á okfrumunni, þá er hún byrjar að vaxa. Þess í stað fjölgar frumum við mítósu og upp vex fullþroska einstaklingur, einfrumungur eða fjölfrumungur, með allar frumur tvílitna. Æviferill þeirra einkennist af gróliði, *tvílitna* skeiði.

Fjölfruma tvílitnunga eru oft úr flóknu skipulagi vefja og líffæra, sem gegna ákveðnu hlutverki. Meðal annars eru líffæri (kynfæri), misjafnlega flókin, úr tvílitna frumum, þar sem fram fer myndun kynfrumna við meiósu. Kynfrumurnar, það er kynliður, eru oft mjög skammlífar, en nái þær að renna saman við frjóvgun, verður til okfruma.

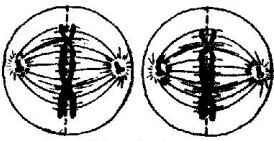
Sumum tvílitnunga fjölga kynlaust við það, að



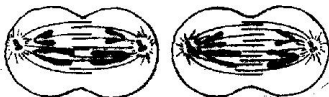
Tvær afkvæmisfrumur í lok meíósu I (interfasi II).



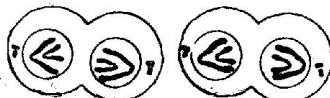
Prófasi II.



Metafasi II.



Anafasi II.



Telófasi II og frumuskipting.
Meíósa II.

grófrumur verða til úr tvílitna frumum við mítósu. Af þeim vaxa nýir, tvílitna einstaklingar á sama hátt og einlitnunar úr grófrumum einlitnunga.

2.4.3 Tví-einlitna æviskeið

Allar plöntur, slímsveppir og fjölmargar frumverur hafa svo nefnt *tví-einlitna* æviskeið. Nákvæmlega eins og hjá öðrum lífverum verður til tvílitna okfruma við frjóvgun. Upp af okfrumunni vex fullþroska einstaklingur, tvílitnunar, við mítósu. Þegar ákveðnum þroska er náð og aðstæður í umhverfi leyfa, verður meíósa, og í staðinn fyrir kynfrumur verða til einlitna grófrumur, sem öðru nafni kallast meíósugró. Nú bregður svo við, að upp af gróí vex nýr einstaklingur, einlitnunar. Hann tekur út sinn þroska og þegar hann er fullvaxinn, myndar hann kynfrumur. Þá er þær renna saman, verður til okfruma, sem getur byrjað að vaxa og orðið að tvílitnungi. Hér skiptast á mismunandi ættliðir.

Hvort tveggja getur verið, að gróliður og kynliður séu mjög líkir í útliti eða gjörólíkir. Dæmi eru þess, að þörungar, sem voru taldir til tveggja tegunda, reyndust vera sama tegundin, annar var gróliður en hinn kynliður. Fyrir kemur og, að annar hvor liður, er vöxtulegur en hinn vart sjáanlegur. Venjulegur mosi er einlitna, það er kynliður, en ofan á mörgum mosaplöntum vex gróliður sem sníkill og myndar þar bauka.

2.5 Lífshættir

Með lífsháttum er átt við, hvernig lífverurnar afla sér fæðu. Tvær megingerðir lífshátta eru frumbjarga lífshættir og ófrumbjarga lífshættir.

Frumbjarga lífshættir felast í því að mynda lífræn efni úr ólífrænum við tillífun. Til þess þarf orku og er hún annaðhvort fengin frá sólu, ljóstillífun, eða úr orkugæfum, ólífrænum efnahvörfum, efnatillífun. Allar grænar plöntur og einstakir gerlar stunda ljóstillífun, en efnatillífun er aðeins meðal gerla.

Við ófrumbjarga lífshætti tekur lífvera til sín lífræn efni úr umhverfinu. Við þess háttar fæðuöflun verður engin nýmyndun á lífrænum efnum úr ólífrænum, en hins vegar getur eitt lífrænt efni breytst í annað (til dæmis sykur í fitu). Þrjár megingerðir ófrumbjarga lífshátta eru sníkjulífi, rotlífi og átlífi.

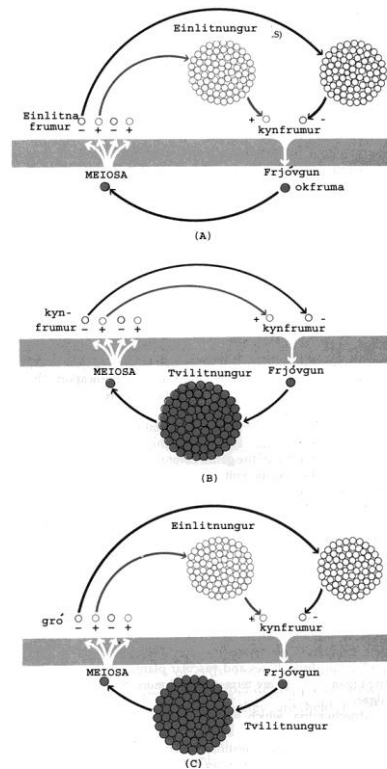
Sníkjulífi er samlífi tveggja tegunda, þar sem sníkillinn tekur til sín næringu úr lifandi lífveru, sem nefnist hýsill (dregið af hús). Sníklar lifa annaðhvort utan á hýsli, ytri sníklar (til dæmis lús), eða inni í hýsli, innri sníklar (til dæmis bandormur). Sumir sníklar valda sjúkdómum og nefnast þeir sýklar.

Við rotlífi aflar rotvera sér fæðu úr dauðri lífveru og veldur rotnun. Mikilvirkustu rotverurnar eru gerlar og sveppir,

og nefnast þeir einnig sundrendur. Við átlífi eta lífverur heilar frumur annarra lífvera, bráðar.

Sniklar eru oftast háðir einni eða fáum tegundum og geta ekki aflað sér fæðu úr öðrum. Þeir eru sagðir lífa bundnu lífi en rotverur og átverur geta yfirleitt lagst á allmargar tegundir; lífað óbundnu lífi.

Myndin til hliðar sýnir: (A): einlitna æviskeið, (B): tvílitna skeið og (C) tví-einlitna æviskeið.



Samanburður á dreifkjarna og heilkjarna frumum.

<i>Einkenni</i>	<i>Dreifkjarna fruma</i>	<i>Heilkjarna fruma</i>
Kjarni	enginn	oftast einn, stundum fleiri
Stærð	um 1 μm	10-100 μm
Frymisgrind	engin	sterk
Erfðaefni	ein hringlaga DNA sameind	margar þráðlaga DNA sameindir
Fjöldi DNA basapara	1×10^6 til 5×10^6	$1,5 \times 10^7$ til 5×10^9

3. Flokkun lífvera

3.1 Flokkunarfræði

Eitt af fyrstu viðfangsefnum innan líffræðinnar var að öðlast almennt yfirlit yfir lífverur til þess að menn gætu skipst á skoðunum og lært hver af öðrum. Í árdaga mannsins þótti það mikilsverð kunnátta að vita hvaða dýr voru hættuleg, hvernig haga skyldi veiðum ólíkra dýra og hvaða plöntur voru eitraðar, svo að dæmi sé tekið. Menn tóku fljótlega eftir því, að lífverur bjuggu yfir sínum sérkennum, og það gerði þeim kleift að vita hverjar þeir gátu nýtt sér og hverjar skyldi forðast.

Á tímum Grikkja og Rómverja leituðust menn við að flokka plöntur og dýr eigi síður en nú á dögum. Aristóteles (384-322 f.kr.) kom fram með flokkunarkerfi dýra en elsta flokkunarkerfi um plöntur, sem vitað er um, er kennt við hinn vísa Þeófrastos frá Lesbos, nemanda Aristótelesar. Í verki sínu *Peri fyton historia* («Um sögu plantnanna») lýsti hann 480 plöntum, sem hann flokkaði eftir ýmsum útlitseinkennum. Af Rómverjum má nefna Plinius hinn eldri, en hann lýsti um 1000 tegundum plantna í 37 binda verki sínu, *Historia naturalis* («Náttúrusaga») um árið 50.

Fyrst um sinn tók þessi flokkunarþörf mannsins einkum mið af nytjum eða óþurft, sem menn máttu njóta eða þola af lífverunum. Smám saman leiddi þessi íhygli manna til nákvæmari flokkunar, sem að lokum varð að einni megin sérfræðigrein líffræðinnar, *flokkunarfræðinni* (systematics).² Flokkunarfræði byggir á kerfi, sem varpar ljósi á sameiginlegt útlit og eiginleika lífvera en jafnframt aðgreinir þær. Í kerfinu er flokkað eftir mismunandi gerð eða lögun einhvers hluta lífverunnar, enda skal gerðin eða lögunin vera sérstæð fyrir lífveruna. Væru öll einkenni óháð hverju öðru, myndi hvert ákvarðað einkenni leiða til ósamstæðrar flokkunar og ekkert viðlit að fella skipulagið undir einn hatt. Á hinn bóginn er þessu ekki svona háttað og því er mögulegt að mynda flokkunarhópa, sem eru grundvallaðir á margþættum samsvörunum sameiginlegra einkenna og mynda samstæðar heildir. Almennt talað er þetta vegna þeirrar staðreyndar, að allar lífverur eru af sama meiði vegna óralangrar þróunar. Jafnframt er það



Þeófrastos frá Lesbos (372-287 f.k.) skipti fyrstur manna plöntum í tré og jurtir.

² Í líffræði er gerður greinarmunur á flokkunarfræði (systematics) og kerfisfræði (taxonomy). Flokkunarfræði fjallar um lýsingu á tegundum, nafngiftum þeirra og innbyrðis flokkun. Kerfisfræðin er um meginreglur flokkunar og uppbyggingu kerfis til þess að flokka lífverur.

Carl Linnaeus eða Carl von Linné (1707-1778) eins og hann nefndist eftir að hann var aðlaður 1762, fæddist í Smálöndum syðri í Svíþjóð. Hann lagði grunninn að núverandi flokkunar- og nafngiftakerfi yfir plöntur og dýr. Hann starfaði um tíma sem læknir en sneri sér síðan alfarið að grasafræði. Hann ritaði mörg grundvallarrit á sviði náttúrufraeða, meðal annars <i>Systema naturae</i> (1735), <i>Genera plantarum</i> (1737) og <i>Species plantarum</i> (1753). Hin klassíska skilgreining Linnés á tegund hljóðar svo: »Species tot numeramus, quot diversæ formæ in principio sunt creatæ.« (<i>Philosophia botanica</i> 1752)	hinn þróunarlegi skyldleiki, sem auðveldaði mönnum að búa til raunhæft flokkunarkerfi. 3.1.1 Hugtakið tegund Þrátt fyrir stöðuga leit manna að nothæfu flokkunarkerfi um langan aldur, var það ekki fyrr en sænski grasafræðingurinn Carl von Linné eða Carl Linnaeus eins og hann hét áður en hann var aðlaður, kom til sögunnar, að viðunandi kerfi fékkst til þess að flokka plöntur og dýr. Meginástæðan fyrir því, að Linné tókst öðrum fremur að flokka lífverur byggðist á því, að hann skilgreindi hugtakið <i>tegund</i> (species) sem undirstöðu flokkunareininga. Linné hélt sig við sköpunarsögu biblíunnar að hætti þeirrar tíðar og taldi, að guð hefði skapað hverja tegund í sinni föstu mynd. (Á nokkrum stöðum í ritum hans, meðal annars í <i>Metamorphosis plantarum</i> (1755), örlar þó á annarri skoðun og var hann í því efni langt á undan sinni samtíð.) Samkvæmt nútíma skilningi hljóðar skilgreiningin á tegund þannig: <i>Allir þeir einstaklingar, sem í öllum meginatriðum eru eins að gerð og útliti, geta æxlast saman og getið af sér frjó og heilbrigð afkvæmi teljast til sömu tegundar.</i> Sams konar erfðavísar, gen, eru dreifðir innan sömu tegundar og stöðugt á sér stað endurröðun þeirra við kynæxlun. Kynferli stuðlar því að arfgengri fjölbreytni. Á hinn bóginn ríkir viss hindrun um æxlun á milli tegunda og veldur sú fyrirstaða því, að skil verða á milli þeirra. 3.1.2 Smærri flokkunareiningar Mörk á milli tegunda eru á stundum óljós og ekki eru allir einstaklingar sömu tegundar steypdir í nákvæmlega sama mót. Þetta veldur því, að ekki eru allir sama sinnis, hvað telja beri sjálfstæða tegund. Íðulega er gripið til þess ráðs að skipta einstaklingum tegunda í smærri flokkunareiningar eftir því hve frábrugðnir þeir eru aðaltegundinni. Sé um verulegt frávik að ræða, sem spannar yfir stóran hluta af útbreiðslusvæði tegundar, er talað um <i>undirtegund</i> (deilitegund; subspecies; skammstafað ssp.). <i>Afbrigði</i> (varietas; var.) er að öðru jöfnu smærra frávik með afmarkaðri útbreiðslu og að lokum er <i>tilbrigði</i> (forma; f.), sem getur skotið upp kolli hér og hvar og stafar af sérstökum skilyrðum (skugga, raka o.s.frv.). Í grasafræði eru flokkunareiningarnar allar notaðar en ekki lengur í dýrafræði nema undirtegund.
---	---

	Á stundum hefur reynst erfitt að draga mörk á milli smærri flokkunarstiga ekki síður en tegunda. Því er oft gripið til þess ráðs, og þykir hagkvæmt, að tala um <i>staðbrigði</i> eða <i>kvæmi</i> (skylt sögninni koma), sem segir til um hvaðan lífvera er upprunnin. Þetta á einkum við um nytjaplöntur, sem hafa mjög víðfeðma útbreiðslu, og eru notaðar í skógrækt eða kornrækt. Geta má þess, að gróðursettar hafa verið um fimmtíu tegundir barrtrjáa hér á landi af 388 kvæmum. Hafa skal þó í huga, að kvæmi er ekki vísindaleg flokkunareining og telst ekki til skipulagsstiga innan flokkunarfræðinnar. <i>3.1.3 Skipulagsstig flokkunarfræðinnar</i> Til þess að unnt sé að öðlast yfirlit yfir allan þann aragrúa af lífverum, sem til er, hefur reynst nauðsynlegt að flokka lífverur í stærri og minni heildir. Eins og áður er vikið að telst <i>tegund</i> grunneining innan flokkunarfræðinnar. Líkum tegundum er síðan skipað í <i>ættkvíslir</i> (genus), ættkvíslum í <i>ættir</i> (familia), ættum í <i>ættbálka</i> (ordo), ættbálkum í <i>flokka</i> (classis), flokkum í <i>fylkingar</i> (divisio í grasafræði, phylum í dýrafræði) og að lokum fylkingum í <i>ríki</i> (regnum). Ekki ríkir full samstaða um alla flokkun, meðal annars vegna mismunandi hugmynda um þróunarskyldleika lífvera. Svo að dæmi sé tekið vilja sumir telja vissan hóp lífvera til sérstakrar fylkingar, en aðrir telja hópinn til yfirfylkingar og greina hann síðan í nokkrar minni fylkingar. Þar af leiðir visst ósamræmi, svo að erfitt getur verið að átta sig á stöðu lífvera innan kerfisins. Nefna má svampdýr sem dæmi. Sumir menn telja þau komin af öðrum frumdýrum en önnur vefdýr og líta á þau sem sérstakt undirríki. Aðrir þykjast sjá, að flest eða öll vefdýr séu komin af sömu megindeild frumvera og skipta þeim því ekki í undirríki. Skipulagsstigin eru nokkru fleiri en hér er talið og ekki er fullt samræmi á milli einstakra greina innan líf-fræðinnar eins og sjá má í töflu á næstu síðu. Skipulagsstigin eru ekki notuð nema þar sem þeirra gerist þörf. Að auki er líka unnt að skjóta inn forskeytunum <i>undir-</i> (sub-), <i>yfir-</i> (super-) og <i>deili-</i> (infra-) til enn frekari greiningar (til dæmis yfirætt, undirætt; yfirættbálkur, undirættbálkur og deiliættbálkur). Hér að neðan er dæmi um skiptingu tveggja tegunda innan flokkunarfræðinnar:
--	--

	<i>Vefdýr</i>	<i>Vefplöntur</i>
Ríki	Metazoa, vefdýr	Metaphyta, vefplöntur
Undirríki	Eumetazoa, eiginleg vefdýr	
Yfirfylking	Enterocoelomata, innholungar	
Fylking	Chordata, seildýr	Anthophyta, blómplöntur
Undirfylking	Vertebrata, hryggdýr	Angiospermae, dulfrævingar
Flokkur	Mammalia, spendýr	Dicotyledoneae, tvíkímblöðungar
Undirflokkur	Eutheria, legkökuspendýr	Apetalae, vankrýningar
Yfirættbálkur		Hamamelidanae, nornaheðlisviðir
Ættbálkur	Primates, fremdardýr	Fagales, beykisbálkur
Ætt	Hominidae, mannaætt	Betulaceae, birkiætt
Ættkvísl	<i>Homo</i>	<i>Betula</i> , birki
Tegund	<i>Homo sapiens</i>	<i>Betula pubescens</i> , birki
Undirtegund	<i>Homo sapiens sapiens</i> maður	

Eftirfarandi tafla er af stigskiptingu innan flokkunarfræði eins og henni er venjulega háttað í grasufræði, gerlafræði og dýrafræði. Lengst til hægri eru íslenska heiti. Þýðingarmestu hóparnir eru merktir með stjörnu (*), en heiti innan hornklofa ([]) eru sjaldan notuð.

	<i>Grasufræði</i>	<i>Gerlafræði</i>	<i>Dýrafræði</i>	<i>Íslenska</i>
	REGNUM	REGNUM	REGNUM Subregnum [Superphylum]	RÍKI Undirríki Yfirríki
	*DIVISIO Subdivisio *Classis Subclassis [Superordo] *ORDO [Subordo] <u>FAMILIA</u> [Subfamilia] Tribus Subtribus	[DIVISIO] [Subdivisio] Classis [Subclassis] Infraclassis ORDO [Subordo] <u>FAMILIA</u> [Subfamilia] Tribus [Subtribus]	PHYLUM Subphylum Superclassis Classis Subclassis Superordo ORDO Subordo Infraordo Superfamilia <u>FAMILIA</u> Subfamilia [Supertribus] Tribus Subtribus	FYLKING Undirfylking Yfirflokkur Flokkur Undirflokkur Deiliflokkur Yfirættbálkur ÆTTBÁLKUR Undirættbálkur Deiliættbálkur Yfirætt ÆTT Undirætt Yfirdeild Deild Undirdeild
	*GENUS Subgenus Sectio Subsectio Series Subseries	GENUS [Subgenus]	GENUS Subgenus	ÆTTKVÍSL Undirættkvísl Geiri Undirgeiri Röð Undirröð
	Species Subspecies Varietas [Subvarietas] Forma [Subforma]	Species [Subspecies] [=Varietas]	Species Subspecies	Tegund Undirtegund Afbrigði Undirafbrigði Tilbrigði Undirtilbrigði

Tegundarnafn = ættkvíslarheiti + viðurnafn	3.2 Tvínafnakerfi Fram á miðaldir var oftast notað aðeins eitt nafn fyrir hverja lífveru. Fyrir kom þó, að einu orði eða fleirum væri bætt við til þess að kveða nánar á um hver lífveran væri. Einkum voru notuð orð, sem lýstu verustað, lit, heimkynnum eða einhverju því um líku. Hugmyndir manna um það hvað væri ein tegund samkvæmt nútíma skilningi orðsins voru ekki jafn ákveðnar þá og nú. Í flestum tilvikum má þó segja, að hver ný lífvera væri sérstök tegund. Eftir því sem menn lærðu að þekkja fleiri tegundir urðu nöfnin sífellt lengri, því að oftast var orði bætt við gamalt nafn til þess að aðskilja nýja tegund. Nafn einnar tegundar gat því verið óslitin röð af mörgum lýsingarorðum (<i>nomina specifica</i>) eins og <i>Urtica urens pilulas ferens</i> (brenninetla) og <i>Cardamine alpina minor resedae foliis</i> (hrafnaklukka) eru dæmi um. Linné einfaldaði nafngiftakerfið. Hann innleiddi svo kallað tvínafnakerfi í flokkunarfræði, jafnframt því, sem hann notaði tegundarhugtakið sem grunneiningu í kerfi sínu. Tvínafnakerfið byggist á því, að sérhver einstaklingur lífheimsins (plöntu-og dýraríkis) ber ákveðið <i>tegundarnafn</i>, sem er tvö heiti, hið fyrra er <i>ættkvíslarnafn</i> og hið síðara <i>viðurnafn</i>. Brennisóley heitir á latínu <i>Ranunculus acris</i>; hér er <i>Ranunculus</i> nafn ættkvíslar en <i>acris</i> er viðurnafnið. Jöklasóley heitir á latínu <i>Ranunculus glacialis</i> og ber sama ættkvíslarheiti, enda náskyld brennisóley, en annað viðurnafn. Nú er það orðin föst venja að rita tegundarnafn með <i>skáletri</i> eða hafa það <u>undirstrikað</u>. Leyfilegt er að skammstafa ættkvíslarheiti, þegar búið er að rita það einu sinni áður og ekki getur orðið um misskilning að ræða. Þess vegna hefði verið nóg að rita fyrir jöklasóley <i>R. glacialis</i>. Í fyrstu notaði Linné röð af lýsingarorðum til þess að nafngreina tegundir eins og þá var háttur manna. Í plöntuskrám frá árunum 1745 og 1749 notar hann tvínafnakerfi samhliða gömlum nöfnum. Í <i>Philosophia botanica</i> (1751) setur hann fram í fyrsta skipti nokkrar meginreglur um nafngiftir plantna, meðal annars um viðurnafnið (<i>nomen triviale</i>), sem á að vera aðeins eitt orð (<i>vocabulum unicum</i>). Þar er einnig kveðið á um, að hvorki tvær ættkvíslir né tvær tegundir geti haft sama nafn, svo og að halda beri í gamla nafnið, ef einni ættkvísl er skipt í tvær eða fleiri. Í <i>Species plantarum</i> (1753) er tegundanöfnum samkvæmt tvínafnakerfi bætt inn á spássíur, en það er ekki fyrr en í 10. útgáfu af <i>Systema naturae</i> (1758), sem Linné notar það um dýr samhliða
---	--

Sem dæmi um nafnbreytingar má taka blóðberg. Íslenskt blóðberg hefur á latínu verið nefnt þessum nöfnum og er það ekkert einsdæmi: <i>Thymus serpyllum</i> L. <i>Thymus serpyllum</i> L. var. <i>prostratus</i> Hornem. <i>Thymus arcticus</i> (E. Durand) Ronn. <i>Thymus drucei</i> Ronn. <i>Thymus praecox</i> Opiz ssp. <i>arcticus</i> (E. Dur.) Jalas <i>Thymus praecox</i> Opiz ssp. <i>britannicus</i> (Ronn.) Holub.	gömlum nöfnum. Tvínafnakerfi Linnés hlaut fljótt almenna viðurkenningu meðal grasa- og dýrafræðinga. Fljótlega fóru einstakir menn að leggja til ýmsar breytingar og síðar var farið að fjalla um tvínafnakerfið á alþjóðþingum. Dýrafræðingar urðu fyrri til að samþykkja grundvallarreglur sínar á árunum frá 1842 til 1845. Á alþjóðþingi grasafræðinga í París 1867 samþykktu grasafræðingar fyrsta nafngiftakerfið um plöntur. Tvínafnakerfið hefur iðulega síðan verið til umræðu á þingum náttúrufræðinga og hafa ýmsar breytingar verið gerðar á því í tímans rás. Nú eru starfandi alþjóðlegar nefndir, sem sjá um að nafnareglum sé fylgt. Víða um heim fara fram rannsóknir á lífverum. Unnið er að því að lýsa nýjum tegundum, endurskoða fyrri greiningar og skipta þeim í undirtegundir og afbrigði. Af þessu leiðir, að latnesk heiti geta breytst svo oft, að mörgum þykir hinn mesti glundroði ríkja í flokkunarfræðinni. Ekki er það alls kostar rétt, því að fylgja verður ákveðnum alþjóðareglum og birta breytingar í viðurkenndum vísindaritum. Þegar tegund er ákvörðuð til undirtegundar er nýju viðurnafni bætt aftan við tegundarnafnið og ssp. (subspecies) skotið þar inn á milli. Til dæmis telst sú brennisóley, sem vex á Íslandi undirtegundin <i>Ranunculus acris</i> ssp. <i>borealis</i>. Sami háttur er viðhafður, þegar um afbrigði (var.) eða tilbrigði (f.) er að ræða. Eins og áður sagði er nú aldrei notuð smærri flokkunareining í dýrafræði en undirtegund og því er óþarft að nota skammstöfunina ssp. og henni því einatt sleppt eins og kemur fram í tegundarheiti mannsins, <i>Homo sapiens sapiens</i>. Auðvelt er að rekja allar breytingar á nöfnum, því að þeir, sem þær gera, verða að setja nafn sitt eða viðurkennda skammstöfun fyrir aftan latneska heitið. Kallast þeir <i>nafnhöfundar</i>. Aðeins L. stendur fyrir Linnaeus (síðar Linné), en aðrir verða að nota ítarlegri skammstafanir (til dæmis Nannf. fyrir John A. F. Nannfeldt, sem var þekktur, sænskur grasafræðingur) eða fullt nafn (til dæmis Stefánsson fyrir Stefán Stefánsson (1863–1921), höfund <i>Flóru Íslands</i>). Þegar gerðar eru breytingar á nafni, er skammstöfun fyrri nafnhöfundar höfð í sviga á undan þeim, sem breytinguna gerði. Oft reynist erfitt að greina lífveru til tegundar og getur margt komið þar til. Sumar lífverur þurfa að hafa náð vissum þroska til þess að greiningareinkenni komi fram og að auki er það aðeins á færi sérfræðinga að greina aðrar lífverur nákvæmlega til tegundar. Sem dæmi má taka ættkvíslina <i>Hieracium</i>, undafífla. Geti menn ekki greint eitt eintak til tegundar er skammstöfunin sp.
--	---

(species) sett aftan við ættkvíslarnafn, *Hieracium* sp. Hafi menn hins vegar mörg eintök, sem virðast teljast til tveggja eða fleiri tegunda er spp. sett fyrir aftan, *Hieracium* spp.

3.3 Ríki lífvera

Aristoteles (384-322 f. kr.) flokkaði allar lífverur annaðhvort sem plöntur eða dýr. Þessi skipting hélst í rúm 2000 ár og Linnés tók hana upp, enda var í þá tíð löngu orðin hefð að skipta lífheiminum í tvö ríki, plönturíki og dýraríki. Þriðja ríkið var steinaríkið, en það kemur ekki við sögu hér. Það vafðist sjaldnast fyrir mönnum til hvors hópsins viss lífvera heyrði. Dýr hreyfðu sig, átu og önduðu, uxu úr grasi og fullorðnuðust. Plönturnar hins vegar fluttu sig ekki úr stað og hvorki átu né önduðu, að því menn töldu. Þegar nýjar lífverur uppgötvuðust, var það oft hending, sem réði því hvort þær töldust til dýra eða plantna. Meðal annars skipti máli, hvort það var grasafræðingur eða dýrafræðingur, sem fyrstur varð til að lýsa lífverunum. Sveppir og bakteríur voru því talin til grasafræðinnar en frumdýrin til dýrafræði.

Um það leyti, sem mönnum varð ljóst, að einfruma þörungar syntu um og framleiddu sjálfir sína fæðu við ljóstillíf, varð ekki hjá því komist að endurskoða flokkun lífvera. Þvílíkum lífverum varð ekki auðveldlega fyrir komið innan gamla flokkunarkerfisins. Löngum var reynt að finna fleiri og ótvíræð einkenni, sem greindu á milli plantna og dýra, en svo varð ekki lengur undan því vikist að brydda upp á nýju flokkunarkerfi. Árið 1866 bætti þýski heimspekingurinn Ernst Haeckel því þriðja ríkinu við, ríki frumvera. Til þess töldust einfruma lífverur og reyndar svampdýr líka.

Síðan gerist það, að um 1937 er lagt til að skipta lífverum í tvo hópa: Heilkjörnunga (eukaryotae), þar sem erfðaeefnið er innan kjarnahjúps og dreifkjörnunga (prokaryotae eða monera), þar sem erfðaeefnið er í fryminu, óvarið af kjarnahjúpi. Um 1969 innleiddi R. Whittaker þá skiptingu, sem algengust er nú. Meginbreytingin, sem hann gerði, var að hafa sveppi sem sérstakt ríki og að einskorða vefdýr og vefplöntur við gömlu ríkin tvö; öðrum lífverum deildi hann í tvo hópa. Skipting hans felur því í sér fimm ríki lífvera: Ríki DREIFKJÖRNUNGA, ríki FRUMVERA, ríki SVEPPA, ríki VEFPLANTNA og ríki VEFDÝRA.

Þó að enn sé mikið stuðst við þessa fimm ríkja skiptingu, er ljóst, að hún fellur ekki alls kostar að öllum lífverum. Á sjöunda og áttunda áratug síðustu aldar

Eins og hér kemur fram hefur ekki tekist að ná samstöðu um eina skýlausa flokkun allra lífvera. Menn greinir á um í æði mörgum atriðum, meðal annars hve ríki lífvera skulu vera mörg og hvaða lífverur skulu heyra til hvers hóps. Þetta kemur þó ekki verulega að sök í almennri umfjöllun um lífverur, heldur hefur miklu heldur fræðilegt gildi.	uppgötvaðust nýjar gerðir af gerlum (bakteríum) og var ríki dreifkjörnunga skipt í raungerla og forngerla. Nú álíta margir, að forngerlar séu svo frábrugðnir raungerlum, að telja beri þá sérstakt ríki, og að þeir skuli ekki bera gerla-eða bakteríu-nafn. Þeir, sem lengst vilja ganga, leggja til að skipta lífheiminum upp í átta ríki. Ríki dreifkjörnunga verði skipt í tvö ríki, gerla (bakteria) og fyrnur (Archaea); ríki frumvera verði skipt í þrjú, ríki fornfrumdýra, ríki frumvera og ríki brúnþörungum; og síðan koma sem áður ríki sveppa, vefplantna og vefdýra. Þá eru og þeir, sem vilja fara aðrar leiðir í skiptingu lífheimsins. Meðal annars hefur verið lagt til (til dæmis amerískur líffræðingur, Carl Woese) að bæta við einu skipulagsstigi ofan við ríki og mætti kalla það fylki á íslensku. Fylkin yrðu þrjú: Fyrnur — oft kallaðar forngerlar, skipt í fjóra aðskilda hópa Gerlar — oft kallaðir raungerlar eða bakteríur; skipt í ýmsa hópa eftir margvíslegum aðferðum Heilkjörnungar — oft skipt í fjóra (á stundum sex) ólíka hópa
---	--

<i>Fylki</i>		<i>Ríki</i>	
<i>Latneskt nafn</i>	<i>Íslenskt nafn</i>	<i>Latneskt nafn</i>	<i>Íslenskt nafn</i>
Archaea	Fyrnur	Archebacteria	Forngerlar
Bacteria	Gerlar	Monera	Raungerlar
Eucarya	Heilkjörnungar	Arcezoa	Fornfrumdýr
		Chromista	Frumþörungar
		Plantae	Vefplöntur
		Protozoa	Frumdýr
		Mycota	Sveppir
		Animalia	Vefdýr

Sú flokkun, sem hér verður viðhöfð, er sú sem Whittaker lagði til, það er að skipta lífheiminum í fimm ríki, þó með þeirri undantekningu, að sérstaklega verður rætt um forngerla. Athygli skal vakin á því, að veirur teljast ekki til lífvera, en þó eru þær samt sem áður oft taldar til sérstaks ríkis. Í eftirfarandi töflu eru upp talin hin fimm ríki og helstu fylkingar.³

³ Þar eð fylkingar vefdýra eru margar, er látið nægja að sinni að telja upp helstu yfirfylkingar.

RÍKI DREIFKJÖRNUNGA – PROCARYOTA

Fylking **Eubacteria** (raungerlar)

Fylking **Archaeobacteria** (forngerlar)

RÍKI FRUMVERA – PROTISTA

Fylking **Oomycota** (eggsveppir)

Fylking **Chytridiomycota** (kytrusveppir)

Fylking **Acrasiomycota** (totu-slímsveppir)

Fylking **Myxomycota** (slímsveppir)

Fylking **Protozoa** (frumdýr)

Fylking **Chrysophyta** (gullþörungar)

Fylking **Pyrrophyta** (eldþörungar)

Fylking **Euglenophyta** (dílþörungar)

Fylking **Rhodophyta** (rauðþörungar)

Fylking **Phaeophyta** (brúnþörungar)

Fylking **Chlorophyta** (grænþörungar)

RÍKI SVEPPA – FUNGI

Fylking **Zygomycota** (oksveppir)

Fylking **Ascomycota** (asksveppir)

Fylking **Basidiomycota** (kólfsveppir)

RÍKI VEFPLANTNA – PLANTAE

Fylking **Bryophyta** (mosar)

Fylking **Psilophyta** (vanblöðungar)

Fylking **Lycophyta** (jafnar)

Fylking **Sphenophyta** (elftingar)

Fylking **Pterophyta** (byrkningar)

Fylking **Cycadophyta** (köngulpálmar)

Fylking **Ginkgophyta** (musterisviðir)

Fylking **Coniferophyta** (barrviðir)

Fylking **Gnetophyta** (furðublöðkur)

Fylking **Anthophyta** (blómplöntur)

RÍKI VEFDÝRA – ANIMALIA

Undirríki Parazoa (svampdýr)

Fylking **Porifera** (svampar)

Undirríki Eumetazoa (eiginleg vefdýr)

Yfirfylking **Radiata** (geisladýr)

Yfirfylking **Acoelomata** (holleysingjar)

Yfirfylking **Pseudocoelomata** (skinholungar)

Yfirfylking **Schizocoelomata** (kleyfholungar)

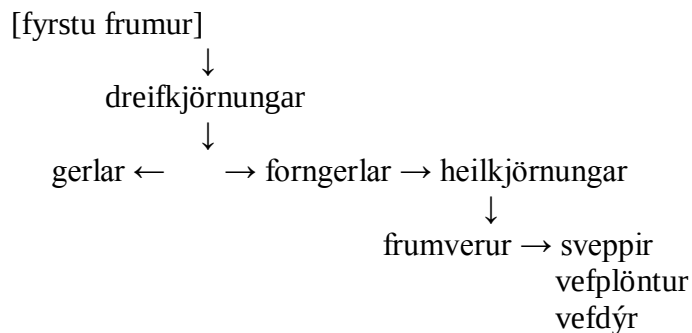
Yfirfylking **Lophophorata** (kemingar)

Yfirfylking **Enterocoelomata** (innholungar)

3.4 Tengsl á milli hópa

Eins og áður hefur komið fram eru ein gleggstu skil, sem finna má í lífríki náttúrunnar, á milli dreifkjörnunga og heilkjörnunga. Dreifkjörnungar eru mjög sér á báti en öðru máli gegnir um lífveruríki heilkjörnunga. Það má benda á tvennt, sem er dæmigert fyrir marga heilkjörnunga en er óþekkt meðal dreifkjörnunga: Kynæxlun og samfrumunga. Enda þótt sumir dreifkjörnungar myndi langar keðjur og ýmis konar sambú, eru tengsl á milli einstakra frumna mjög sjaldgæf. Í plöntum hins vegar tengjast aðliggjandi frumur saman með frymisbrúm, sem ganga í gegnum frumuveggi og í dýrum skiljast frumur að af frumuhimnum eða eru umluktar tengiefni.

Meirihluti lífvera innan allmargra fylkinga eru einfrumungar og eru þeir, auk nokkurra fjölfrumunga, sem augljóslega eru þeim tengdir, taldir til ríkis frumvera. Elstu leifar frumvera eru frá forkambríum fyrir um 3000 milljón árum. Talið er, að frumverurnar hafi þróast af dreifkjörnungum, og þá helst forngerlum og sumar jafnvel af sameiginlegum for-frumum. Þá þykir áreiðanlegt, að einstakar fylkingar innan annarra ríkja heilkjörnunga séu komnar af sundurleitum hópum frumvera. Þetta má tákna á eftirfarandi hátt:



Fjölfrumungar hafa þróast af einfrumungum, enda þótt þeir séu ekki þekktir í öllum tilvikum. Þrír hópar fjölfrumunga skera sig úr um stærð og mikilvægi: Vefplöntur, vefdýr og sveppir. Innan þessara ríkja eru nær allar lífverur fjölfrumungar, að undanskildum örfáum gersveppum. Flest bendir þó til, að forfeður þeirra hafi verið fjölfrumungar.

Lífshættir innan þessara þriggja ríkja eru all ólíkir. Vefplöntur framleiða sjálfar sín lífrænu fæðuefni við ljóstillífun, yfirleitt innbyrða vefdýrin fæðuna og melta hana en sveppirnir seyta meltiensýmum út í umhverfið og sjúga síðan til sín melt fæðuefni.

Að viðbættum þessum þremur meginstofnum eru þrír aðrir flokkar - rauðir, grænir og brúnir þörungar - þar

sem fjölfrumungar eru tíðar. Brúnþörungar eru ýmist ein-eða fjölfrumungar, rauðþörungar eru nær eingöngu fjölfrumungar en grænþörungar eru hvorir tveggju ein- og fjölfrumungar. Allar lífverurnar eru frumbjarga. Með rökum má halda því fram, að þær ættu að heyra til vefplöntum. Á móti því mælir þó það, að vefjaskipulag þeirra er mjög ófullkomið.

3.5 Yfirlit yfir ríkin fimm

Hér fer á eftir stutt yfirlit yfir einstök ríki lífvera. Nánar er rætt um hvert þeirra í köflunum hér á eftir. Meðal annars verður greint frá helstu einkennum ríkjanna eins og lífsháttum.

Veirur eru ekki lífverur í þeim skilningi, sem hér er lagður í orðið líf. Hins vegar búa þær yfir þeim eiginleika að geta hagnýtt sér starfsemi lífvera til þess að margfaldast og þannig getur þeim fjölgað inni í lifandi frumum. Oft eru þær sagðar á mörkum hinnar dauðu og lifandi náttúru. Þeirra verður því lítillaga getið síðar, en þær eru ekki taldar í hópi lífvera.

3.5.1 Dreifkjörnungar

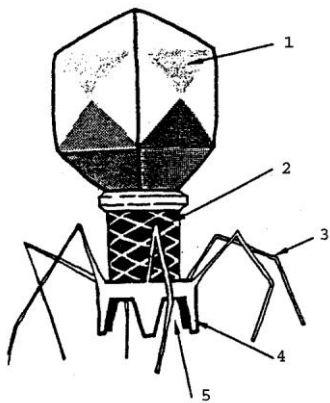
Til dreifkjörnunga teljast raungerlar og fyrnur (forngerlar), sem skiptast í marga undirhópa. Á meðal raungerla eru blágerlar. Einstakir hlutar í dreifkjarna frumum eru ekki sveipaðir himnum, þar eru ekki örtrefjar og svipur þeirra eru ekki sömu gerðar og í heilkjörnungum (9+2). Hringlaga DKS sameindin er ekki tengd við prótín, og að auki eru dreifkjörnungar á ýmsan hátt ólíkir heilkjörnungum um samsetningu lífefna.

Lífshættir dreifkjörnunga eru mjög sérstæðir. Þar er að finna jafnt ófrumbjarga lífshætti, *sníkjulífi* og *rotlífi* (ekki þó átlífi), sem frumbjarga, *ljóstillífun* og *efnatillífun*.

Fram hafa verið settar nokkrar kenningar um þróunarskyldleika dreifkjörnunga og heilkjörnunga. Til greina getur komið, að vissir dreifkjörnungar hafi tekið sér bólfestu inni í heilkjörnungum. Meðal annars hefur verið sýnt fram á sameiginleg einkenni vissra hópa gerla og frumuhlutanna hvatbera og grænkorna í heilkjörnungum, bæði hvað varðar gerð og erfðaefni. Í frymi sumra gerla liggja frymishimnur í margföldum fellingum, sem minna mjög á himnufellingar í hvatberum. Einnig eru viss lífefna-hvörf hliðstæð í hvatberum og gerlum. Grænkorn í

	frumbjarga frumverum eru augljóslega ekki öll af sama meiði. Í sumum tilvikum líkjast þau frumbjarga dreifkjörnungum. <i>3.5.2 Frumverur</i> Til frumvera teljast ellefu fylkingar lífvera, sem er það sameiginlegt að hafa ekki greinileg einkenni sveppa, vefplantna eða vefdýra. Segja má, að þetta sé ærið sundurleitur hópur einfrumunga, sambúa og meira að segja fjölfrumunga (brúnþörunga, rauðþörunga og grænþörunga). Lífshættir frumvera eru með ýmsu móti. Innan sex fylkinga eru frumbjarga lífverur, sem stunda ljóstillífun. Kallast þeir einu nafni <i>þörungar</i> (að sjálfsögðu eru undanskildir þeir, sem fyrrum voru nefndir »blá(græn)þörungar« og teljast nú til gerla). Innan hinna fimm fylkinganna eru lífverur, sem stunda ófrumbjarga lífshætti. Fyrst er að nefna frumdýr, sem eru einfrumungar eða mynda sambú. Í sambúum hópa sig saman margir einstaklingar en hver heldur sínum sérkennum og er engin sérhæfing á milli einstaklinga. Mörg frumdýr eru sníklar en önnur lifa át- eða rotlífi. Hinar fjórar fylkingar frumvera voru áður taldar til sveppa, það eru eggsveppir, kytrusveppir, totu-slímsveppir og slímsveppir. Eins og sést á nöfnunum er enn haldið í sveppanafnið, þó að slíkt sé fremur óhentugt. <i>3.5.3 Sveppir</i> Eiginlegir sveppir eru á stundum taldir til frumvera. Nú álíta margir, að þeir skipi slíka sérstöðu meðal lífvera, að telja beri þá til sérstaks ríkis. Líkami sveppa er úr þráðlaga heilkjörnungum. Í frumuveggjum er kítín. Þá skortir grænuhorn og þeir taka til sín lífræna næringu úr lifandi eða dauðum lífverum. Meðal sveppa er bæði kynlaus æxlun og kynæxlun, oft ærið flókin. Mjög algengt er, að sveppur og þörungur (eða á stundum blágerill) fléttist saman og lifi í svo nánu sambýli, að litið er á þá sem sérstaka tegund, sem kallast <i>flétta</i> (skóf). <i>3.5.4 Vefdýr</i> Vefdýr eru fjölfrumungar, byggð úr ófrumbjarga, veggjarlausum heilkjörnungum. Margir telja, að vefdýrin séu komin af nokkrum ólíkum, einfruma frumverum í fyrstu, en hafi þróast síðan hver af öðrum. Í líkömum þeirra eru
--	---

	vefir, sem raða sér í líffæri og í allmörgum eru flókin líffærakerfi. Oft sést skyldleiki vefdýra á fósturstigi við myndun hinna þriggja fósturlaga. Margar frumur þeirra eru mjög sérhæfðar eins og <i>tauga-</i> og <i>vöðvafrumur</i>. <i>3.5.5 Vefplöntur</i> Til vefplantna teljast mosar og níu aðrar fylkingar, sem einu nafni eru oft kallaðar <i>æðaplöntur</i>. Nafnið er til komið vegna tvenns konar æðastrengja, <i>sáld-</i> og <i>viðaræða</i>, sem liggja um plönturnar. Talið er, að vefplöntur hafi þróast af grænþörungum, enda er margt sameiginlegt með þeim. Frumuveggir eru úr beðmi, forðanæring er mjölvi og með örfáum undantekningum eru vefplöntur frumbjarga, með sams konar blaðlitarefni. Í frumum eru safabólur, sem þó eru miklu mun meira áberandi í vefplöntum en grænþörungum. Í vefplöntum eru allmargar sérhæfðar frumur, sem raða sér saman í vefi og mynda meira að segja oft sérleg líffæri eins og blöð og blóm.
--	---



Megingerð gerilveiru. 1. prótínhjúpur höfuðs umlykur DKS-práð, sem geymir meira en 60 gen., 2. herpanlegt halaslíður, 3. gripangar, sem festa veiruna við geril, 4. sexhyrnd grunnplata og 5. göng, sem DKS fer um.

4. Veirur

Veirur eru ekki taldar með í flokkun lífvera, vegna þess, að þær hafa ekki frumskipulag og eru ekki taldar til lífvera. Á hinn bóginn má með nokkrum rökum halda því fram, að þær séu á mörkum hinnar lífvana og lifandi náttúru. Veirur eru agnarsmáar eða sjaldan stærri en 200 nm að þvermáli.

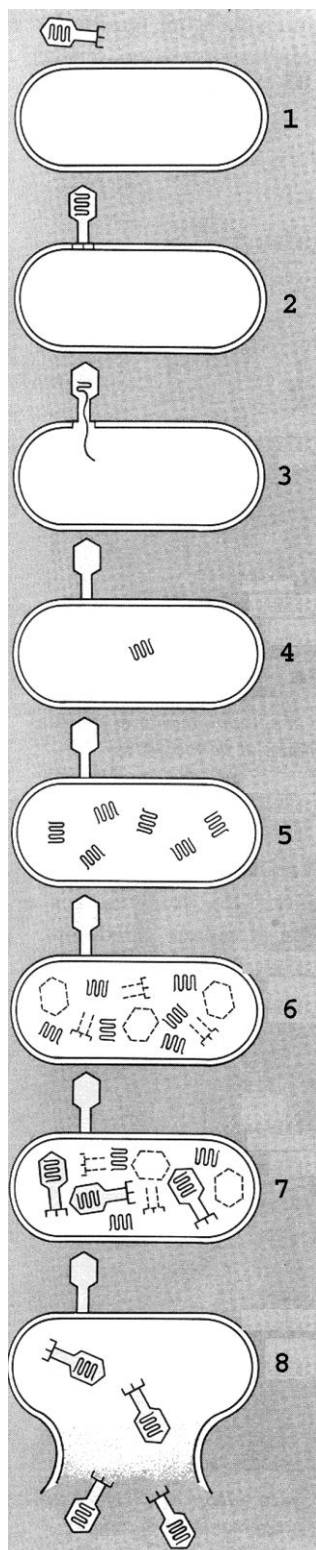
Veirur eru ávallt úr að minnsta kosti tveimur hlutum, ytra byrði eða hjúp úr prótíni og kjarnsýru þar inni, annaðhvort DKS eða RKS. Að auki kunna að vera þar nokkur ensím, sem stuðla að fjölgun kjarnsýrunnar. Utan um hjúpinn er oft þunn himna, sem að hluta til er frumuhimna hýsilsins. Flokkun veirna byggist einkum á þremur atriðum: a) Gerð kjarnsýrunnar, b) lögun og stærð hjúpsins og d) hvort hjúpurinn er klæddur himnu eða ekki.

Þar eð engin starfsemi fer fram í veirum, geta þær aðeins verið virkar inni í lifandi frumum. Oft áður voru hænuegg smituð til þess að rannsaka hætti þeirra, en nú er algengara, að sýkja vefi, sem eru sérstaklega ræktaðir í þessu skyni. Veirur sýkja allar gerðir af frumum, gerlafrumur jafnt sem frumur úr mönnum. Eitt vekur sérstaka athygli við veirur. Það er hve sérhæfðar þær eru. Vissar veirur sýkja aðeins gerla, svo nefndar gerilætur, tóbaksveiran leggst einungis á plöntur og aðeins spendýr smitast af hundaæðisveiru. Sumar veirur, sem hrjá menn, eru líka mjög sérhæfðar. Alnæmisveirar (HIV) ræðst einungis á sérstök blóðkorn, mænusóttarveira fjölgar sér bara í mænutaugum og veira, sem veldur lifrabólgu nær sér aðeins á strík í lifrarfrumum. Skýring á sérhæfingu þessari kann að vera sú, að kjarnsýra veirnanna sé upprunnin úr frumum hýslanna. Ef svo er, mynduðust veirur á eftir frumum og eru líklega enn að verða til.

Veirur geta tekið stökkbreytingum eins og frumur. Það veldur því, að lyf gegn smjúkdómum virka oft ekki nema stuttan tíma í einu. Þannig eru ávallt að koma fram nýir stofnar af veirum, sem valda influensu.

Veirur eru sérhæfðar að vissum frumum vegna þess, að hjúpur á þeim eða himnan, sem umlykur hann, falla eins og lykill í skrá að frumuhimnu hýsilfrumunnar. Eftir að kjarnsýra veiru hefur brotið sér leið inn í frumu, fer hún að stjórna efnaskiptum hýsilfrumunnar og tekur að framleiða nýjar veirur.

Fjölgun veirna inni í hýsilfrumu gerist með nokkuð mismunandi hætti. Í sinni einföldustu mynd gerist það þannig, þegar veira sýkir gerilfrumu, að veiran sest



Sjá skýringar í meginmáli.

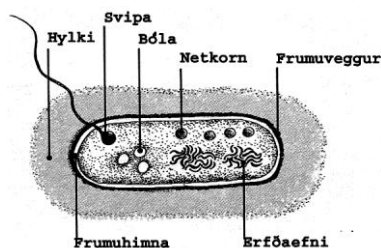
utan á frumuvegg gerilsins (1). Veiran veldur því, að veggur gerilsins leysist upp (2) og DKS-þráður veirunnar smýgur inn í hýsilinn (3). Þá gerist það, að erfðaefni veirunnar tengist við DKS-þráð gerilsins (4) og hafist getur framleiðsla á efnum veirunnar samkvæmt fyrirsögn erfðaefnisins (5), bæði nýjum DKS-þráðum og hjúpum en líka á ensímum, sem leysa upp frumuvegg gerilsins (6), svo að nýmynduðu veirurnar (7) sleppa út (8) og geta tekið að smita aðrar frumur.

Nýmyndunarferli veiru hefst ekki alltaf um leið og fruma sýkist. Smitið getur legið niðri um allnokkurn tíma, en hafist svo skyndilega, oft fyrir tilstilli utanaðkomandi krafta.

Veirur, sem smita dýrsfrumur, hegða sér um margt líkt og gerilætur. Þó eru nokkur atriði frábrugðin. Ef veiruhjúpurinn er klæddur himnu festist hún við hýsilfrumuna og allur hjúpurinn, með erfðaefnið inni í sér, hverfur inn í frumuna. Inni í frumunni eyðist hjúpurinn og erfðaefnið, hvort heldur það er DKS eða RKS, getur nú farið að hafa áhrif á starfsemi hýsilsins. Nýju veirurnar, sem myndast, losna oft úr hýsilfrumunni við það að hluti frumunnar myndar knappsnot, sem losnar frá. Þar með hafa þær fengið nýja himnu utan um hjúpinn, sem greiðir þeim leið inn í aðra frumu. Þó að hluti hýsils losni frá, leiðir það alls ekki alltaf til dauða frumunnar.

Til eru svo kallaðar víxlveirur, retróveirur, sem hafa kjarnsýru af RKS-gerð og sérstakt ensím, sem veldur því, að DKS-þráður afritast eftir RKS-þræðinum. Þegar víxlveiran er komin inn í dýrsfrumu, verður því til DKS-þráður, sem síðan tvöfaldast og fellur inn í litninga hýsilfrumunnar. Þar með getur hún farið að nýmynda nýjar veirur. HIV-veiran er einmitt af þessari gerð svo og ýmsar veirur aðrar, sem vitað er að geta valdið krabbameini.

Frumkvöðlar á sviði gerlafræði voru einkum þrír menn. Fyrst er að nefna Antonie van Leeuwenhoek (1632-1723), sem fyrstur manna lýsti gerlum í bréfi til Konunglega vísinda-félagsins í Lundúnum, dagsett 17. sept. 1683. Hann skoðaði matarleifar úr tönnum í smásjá við um 300x stækkun og teiknaði svo nákvæmar myndir af smáverum («animalcules») að unnt er að greina gerlana til tegunda. Hann lýsti einnig fyrstur manna sáðfrumum og frumdyrum. Frakkinn Louis Pasteur (1822-1895) uppgötvaði marga sjúkdómsgerla, var upphafsmaður að gerilssneyðingu og fann upp bóluefni. Þjóðverjinn Robert Koch (1843-1910) fékkst einkum við rannsóknir á sjúkdómsgerlum, sem meðal annars valda miltisbrandi, berklum, barnaveiki og tauga-veiki.



Einfölduð teikning af gerli.

5. Gerlar

5.1 Inngangur

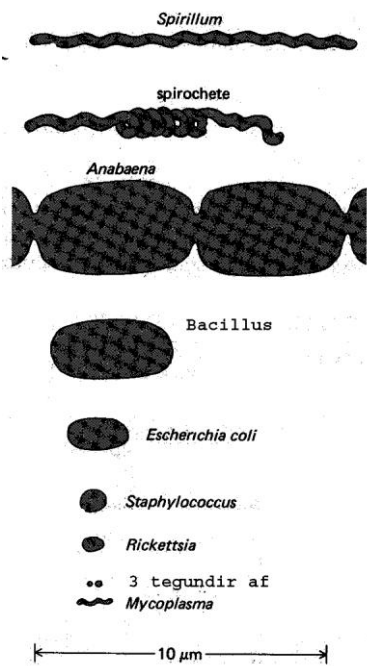
Gerlar (bakteríur) eru minnstu, einföldustu og algengustu lífverurnar. Þeir lifa svo að segja hvarvetna um alla jörð, í ryki, jarðvegi, fersku og söltu vatni, lofti, bæði á og í plöntum og dýrum og líka í heitum hverum og laugum. Þar eð flestar tegundir þarfnast lífrænna efna, eru þeir ríkulega í jarðvegi og þörmum spendýra. Einn þriðji til helmingur af saur mannsins er til að mynda gerlar.

Elstu steingerðar leifar af gerlum er að finna í um 3400 miljón ára gömlum jarðlögum í Ástralíu. Fyrstu ummerki um ljóstillífun eru um 3300 miljón ára gömul og í Suður-Afríku hafa fundist 3200 miljón ára gamlar kúlulaga örður, sem kunna að vera blágerlar. Á hinn bóginn eru elstu heilkjörnungar aðeins um 1500 miljón ára gamlir.

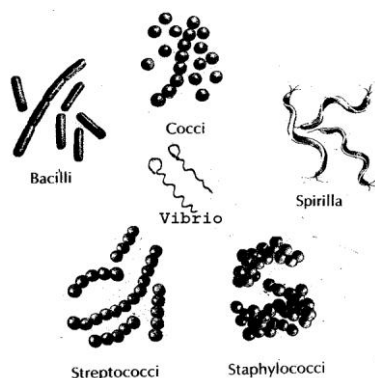
Flestir gerlar geta lifað sjálfstæðu lífi. Þó eru nokkrir, sem þrífast aðeins í öðrum lífverum. Lífshættirnir eru ærið margbreytilegir. Sumir eru frumbjarga og stunda ljóstillífun eða efnatillífun; og eru einu lífverurnar, sem geta nýtt sér orku útverminna efnahvarfa til þess. Aðrir eru ófrumbjarga, ýmist rotverur eða sníklar.

Gerlar hafa engan kjarna og erfðaeefnið í þeim er ekki jafn flókið að gerð og í heilkjarna frumum. Kynæxlun er óþekkt, en þó er álitíð, að sumir geti skipst á erfðaeefni við svo kallaða skiptifrjóvgun. Fjölfrumungar eru óþekktir meðal þeirra. Á stundum mynda gerlar þræði eða klasa, þar sem frumuveggir ná ekki að skiljast sundur við frumuskiptingu eða utan um þá er slímkenndur hjúpur, sem heldur þeim saman. Frymisbrýr á milli frumna eru sárasjaldséðar, koma aðeins fyrir meðal fáeinna blágerla.

Í gerlum eru engir frumuhlutar klæddir himnum eins og í heilkjarna frumum. Í þess stað er frumuhimnan oft í mörgum lögum og myndar margvíslegar fellingar, sem ná langt inn í frumuna. Himnufellingarnar auka innra yfirborð frumunnar og um leið þeirra staða þar sem ensým vinna. Í sumum ljóstillífandi gerlum eru grænu litarefnin á milli fellinga en í öðrum eru þau í litlum kornum, *litberum*. Í frumuveggjum þeirra flestra er múramínsýra, sem er ekki þekkt í veggjum heilkjarna frumna.



Algeng stærð gerla.



Á myndinni má sjá nokkra gerðir af gerlum.

Danskur læknir, Hans C.J. Gram (1853-1938), uppgötvaði, þá er hann vann í líkhúsi í Berlín, að sumir gerlar litast í bláu litarefni en aðrir ekki. Endurbætt aðferð hans er enn notuð. Gerlarnir eru fyrst litaðir í fjólubláu, basísku anilínefni, þá í rauðri joðlausn og loks skolaðir í hreinu etanóli. Á þennan hátt er unnt að skipta gerlum í tvo hópa: Gram-neikvæða (ógrama), sem litast ekki, og gram-jákvæða (grama), sem litast.

5.2 Gerð og starfsemi

5.2.1 Stærð og lögun

Þvermál gerla er jafnan um 0,1 til 1 µm og lengdin allt að 10 µm. Enda þótt gerlar séu mjög smáir, er heildarmassi þeirra talinn vera meiri en samanlagður massi allra annarra lífvera. Þá er annað ekki síður athyglisvert og það er hlutfallið á milli yfirborðs og rúmmáls, sem er mjög hátt eða um 100'000. Um 2500 tegundir af gerlum hafa verið greindar. Skipta má gerlum í hópa eftir útliti:

- 1) Stafgerla (bacillus): aflanga, beina.
- 2) Kúlugerla (coccus): hnöttótta.
- 3) Skrúfugerla (spirillum): gormlaga.
- 4) Kommugerla (vibrio): broddlaga, sem hak.

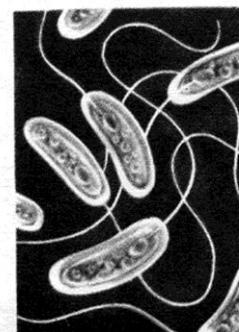
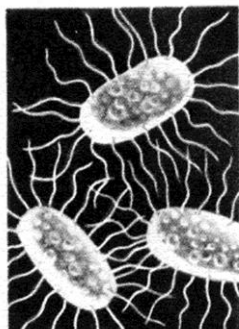
Kúlugerlar raðast oft saman á mjög reglubundinn hátt; eru á stundum tveir og tveir saman (diplococci; valda t.d. lungnabólgu), í klösum (staphylococci; valda t.d. oft uppköstum eða niðurgangi) eða mynda keðjur (streptococci; valda m.a. öndunarsjúkdómum). Stafgerlar eru ýmist einstakir eða í löngum keðjum og þá líkjast þeir mjög sveppþráðum. Þess vegna er forskeyti *myco-* (sveppur á grísku) oft skeytt við nafn þeirra.

5.2.2 Frumuveggur og hylki

Frumuveggur gerla er úr tvísykrum, sem eru tengdar stuttum keðjum af amínósýrum (peptíðum), og er veggurinn um 20 til 35% af þurrvikt gerlanna. Efnasamsetning veggins er oft sérstök fyrir hverja gerlategund.

Ýmsar litunaraðferðir hafa komið að miklum notum við að greina gerla. Kunnust þeirra er gram-litun, en þá litast gram-jákvæðir gerlar svarbláir en gram-neikvæðir litast ekki. Veggur á gram-jákvæðum tegundum er úr einföldum stórsameindum, svo kallaðs peptíðó-glykans, og er um 15 til 80 nanómetrar á þykkt. Á gram-neikvæðum tegundum er frumuveggurinn þakinn báðum megin lípófjölsykrum, enda þótt þykkt hann sé aðeins um 10 nanómetrar.

Hin ýmsu sýklalyf (fúkalyf) hafa misjafna verkun á gram-jákvæða og gram-neikvæða gerla. Til að mynda kemur penísillín í veg fyrir myndun peptíðkeðjanna í gram-jákvæðum gerlum, svo að veggurinn rofnar við frekari vöxt. Á hinn bóginn koma lípófjölsykrurnar í veg fyrir þess



Myndin sýnir nokkrar gerðir af svípum á gerlum.

háttar skemmdir á gram-neikvæðum gerlum. Annað algengt fúkalyf er aktínómýsín en það hamlar prótínmyndun, þar eð það tengist við hina tvöföldu DKS-sameind í kjarna. Aktínómýsínið kemst greiðlega í gegnum frumuvegg á gram-jákvæðum gerlum og banar þeim, en kemst ekki inn í gram-neikvæða gerla. Til varnar gram-neikvæðum gerlum verður því að velja önnur fúkalyf en penísillín eða aktínómýsín; meðal annars er oft notað eryþrómycín. Í hvítum blóðkornum, táravökva og slímhúðarvökva er ensýmið *lysozym*, sem brýtur niður vegginn á gram-jákvæðum gerlum.

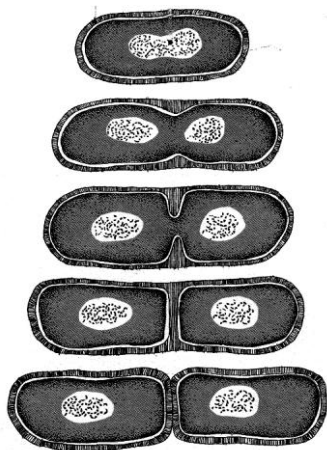
Ýmsir gerlar geta fest sig við ýmsa hluti vegna þess að á ytra borði þeirra er lag af þráðatrefjum úr fjölsykrum (*glycocalyx*). Meðal annars þess vegna geta þeir náð fótfestu á jafn hörðu og þétu efni og glerungi tanna. Utan um frumuvegg er líka oftast hlaupkennt hylki (*capsule*), gert úr fjölsykrum. Það myndast í fryminu og seytlar út um frumuvegginn. Hylkið er misþykkt og virðist háð næringarefnum, sem gerillinn lifir í.

5.2.3 Svipur og festiþræðir

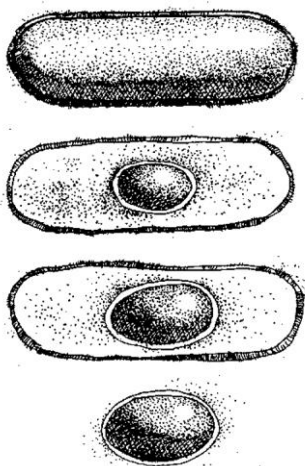
Vissir gerlar hafa langa, skrúfulaga svipu, oft allmiklu lengri en þeir sjálfir. Svipan er hreyfitæki gerilsins og getur hann farið um tuttugu sinnum breidd sína eða meira á einni sekúndu. Svipan snýst stöðugt í hringi (allt að 2'400 hringi á sekúndu), en slík hreyfing er óþekkt meðal heilkjörnunga.

Svipurnar eru ekki sömu gerðar og í heilkjörnunga (9+2). Þær eru um 3 til 12 míkrometrar að lengd og aðeins 10 til 20 nanómetrar á breidd. Þær sjást því ekki í venjulegri ljóssmásjá. Á sumum gerlum eru svipurnar dreifðar um allt yfirborð frumunnar en á öðrum eru þær aðeins á öðrum eða báðum endum. Svipan er úr sérlegu prótíni, *flagellini*. Hún gengur út um dæld í frumuvegg en þar fyrir innan er hreyfihringur inni í öðrum stærri hring.

Festiþræðir (pili) eru frymisútskot, sem jafnan eru styttri en svipur og þvermál aðeins 7,5 til 10 nanómetrar. Festiþræðirnir eru einkum á gram-neikvæðum gerlum. Þeir eru úr prótíni en annarrar gerðar en svipurnar. Festiþræðir stuðla meðal annars að því, að gerlar geti fest sig við yfirborð annarra lífvera. - Sérstakir þræðir, holir að innan, myndast á sumum gerlum, þegar einhvers konar skipti-frjóvgun, sem er að öðru leyti ókunn, á sér stað. Ef til vill mynda þeir brýr á milli, svo að frumur geti skipst á DKS-erfðaeefni eða gegna einhverju öðru óþekktu hlutverki.



Æxlun gerils.



Myndin sýnir myndun dvalagrós.

5.2.4 Frymi og frumuskiptingar

Í frymi gerla eru himnufellingar, og eru fjöldamörg ensým fest á innra borð þeirra. Þá eru þar innlyksa mörg netkorn og ýmis korn önnur, en á einum eða tveimur stöðum er erfðaeefnið DKS að finna í litlum hnoðrum. Það er tvöfaldur DKS-þráður samanfáinn, en um 700 til 1000 sinnum lengri en sjálf fruman.

Gerlar fjölga sér jafnan við kynlausa æxlun, með frumuskiptingu; hver fruma eykur stærð sína uns hún skiptir sér í tvær frumur. Í miðri frumu myndast frumuhimna og veggur. Nýmyndaði veggurinn er þykkari en venjulegur veggur en hann klofnar síðan um miðjuna, svo að hvor helmingur fær nýjan vegg. Fyrir kemur, að veggurinn klofnar aðeins að hluta til og myndast þá keðjur af gerlum; á stundum brotna keðjurnar í aðrar styttri, og meðal blágerla nefnast þær þá *æxlibútar* (hormogonia).

Hinn hringmyndaði, tvöfaldi DKS-þráður, sem geymir heimildir erfðanna, er að líkindum tengdur við innra yfirborð frumuhimnunnar á einum stað. Þegar hann hefur tvöfaldast, eru tvær eins hringlaga DKS-sameindir festar hlið við hlið á yfirborði frumuhimnu. Frumuveggurinn og frumuhimnan, sem myndast við upphaf frumuskiptingar, myndast mitt á milli þessara tveggja hringa. Þannig fær hvor nýr einstaklingur nákvæmlega eins DKS-sameindir.

Sumir gerlar geta myndað þykkveggja *dvalagró* (endospore), sem þola bæði mikinn hita og þurrk. Tvö eða fleiri dvalagró myndast við skiptingu frymisins og er hvert þeirra með sitt DKS-erfðaeefni. Þau geta geymst í marga áratugi, ef ekki aldir. Meðal blágerla geta nýir einstaklingar sprottið úr svo kölluðu *akinet*, en það eru dvalafrumur, sem verða til úr venjulegum frumum við að þær stækka, frymið verður seigara og veggur harðnar.

5.2.5 Hreyfing gerla

Þrátt fyrir einfalda gerð geta gerlar brugðist við áreiti, eins og til dæmis hreyft sig í átt að hærri eða lægri styrk súrefnis eða fæðu. Með því að beita svipum sínum geta þeir nálgast eða fjarlægst ýmis efnasambönd vegna sérstakra efnanema, sem skynja ýmsar fæðutegundir, meðal annars sykurl.

Saurgerillinn *Escherichia coli* hefur að minnsta kosti 20 sérhæfða efnanema – tólf til að dragast að efnum og átta til að forðast. Efnanemarnir eru úr prótínum og eru þeir, sem tengjast sykrum galaktósa, maltósa og ríbósa, í bilinu á milli frumuveggjar og frumuhimnu; aðrir

Maðurinn og bakterían lifa þannig í sambýli, og er hún elsta og nátengdasta »húsdýr« mannsins.

Bókin um manninn, Rvík. 1946

efnanemar eru í frumuhimnu. Á einhvern óþekktan hátt berast boðin til svipanna og koma af stað hreyfingu þeirra.

Sumir gerlar skynja umhverfi sitt á nokkuð sérkennilegan hátt. Meðal annars verður til seguljárn (Fe_3O_4) í nokkrum gerlum, sem lifa í vatni. Með hjálp þessara litlu segla geta þeir synt í ákveðna átt. Á norðurhveli jarðar stefna þeir norður og niður, því að segulsviðið hallar til norðurs. Á suðurhveli er þessu öfugt farið. Að líkindum stuðlar þetta að því að gerlarnir sækir niður á botn, forðist súrefni, og þar er fæðu jafnframt að finna.

5.3 Útbreiðsla gerla

Sem áður sagði lifa gerlar nær hvarvetna, meira að segja þar, sem engar aðrar lífverur fá þrífist. Sumir gerlar lifa einvörðungu í súrefnissnaudu lofti, með öðrum orðum eru skilyrðisbundið loftfirrðir (anaeroba) en aðrir kunna að lifa þar, þó að þeir þoli líka súrefni. Gerlar þola og bæði mikinn hita og þrýsting. Tegundin *Thermoanaerobacter ethanolicus* þrífst við 78°C í Yellowstone þjóðgarði. Meira að segja eru gerlar við hitauppstreymi á djúpsævi við 360°C . Þegar gerlar þessir voru ræktaðar á tilraunastofu við mikinn þrýsting og 250°C , tvöfölduðu þeir fjölda sinn á aðeins 40 mínútum. Að sjálfsögðu geta þeir aðeins lifað við slíkan hita undir miklum þrýstingi.

Á Suðurskautslandinu fundust lifandi gerlar í bor-kjörnum af 430 metra dýpi. Gerlarnir, sem voru að minnsta kosti tíu þúsund ára gamlir og að líkindum miklu eldri, höfðu legið í dvala allan tímann við -7°C til -14°C og lifnuðu þegar í stað við, þá er hiti hækkaði.

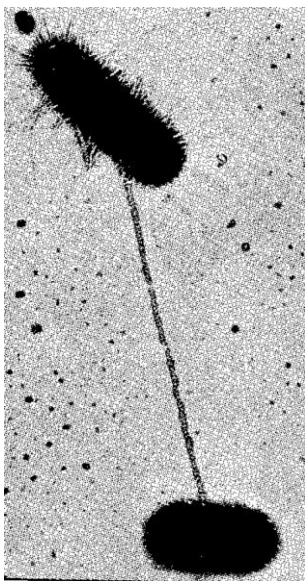
Þolsvið gerla er mjög breytilegt. Meiri hlutinn unír sér best við hita á milli 20 og 30°C . Gerlar, sem valda sjúkdómum í mönnum, þrífast best við 37°C , og meðal annars eru til tegundir, sem þurfa 55 til 70°C eins og ein tegund, sem lifir í heyi. Vegna ákafrar öndunar gerilsins hækkar hitinn í heyi og getur leitt til íkvikunar.

Meginreglan er sú, að gerlar kjósa sér helst fremur hátt sýrugildi (pH), það er þeir dafna best í hlutlausu eða lítið eitt basísku umhverfi. Þekktar eru tegundir, sem lifa við pH 11,5 og jafnvel við mikinn styrk ammóníaks. Súrt umhverfi er yfirleitt ekki við hæfi gerla og því er edikssýra oft notuð til þess að koma í veg fyrir vöxt þeirra í matvælum. Þó eru til nokkrar tegundir, sem geta lifað í sterkri brennisteinssýru, brennisteinsvetni, kolmónoxíði og öðru umhverfi, sem flestum lífverum er eitrað.

Eins og gildir um flestar aðrar lífverur eru gerlar mönnum bæði til ábata og óskunda. Ásamt sveppum stuðla gerlar að rotnun, sem er frumskilyrði lífs, þeir eru notaðir í

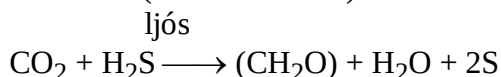
Gerillinn <i>Clostridium botulinum</i> myndar eitt sterkasta eitru, sem þekkt er, <i>bótúlín</i>. Innan við hálf gram af eitru væri nóg til þess að drepa alla Íslendinga. Efnid veldur svo nefndri sperðileitru, sem lýsir sér sem slappleiki í vöðvum, erfiðleikar við öndun og þegar kyngt er. Gerillinn myndar eitrið við loftfirrðar aðstæður og þrífst mætavel í niðursoðnum matvælum, sem hafa ekki verið soðin nógu lengi við nægan hita. Miltisbrandur er næmur sjúkdómur, sem orsakast af gerlinum <i>Bacillus anthracis</i>. Hann leggst á spendýr, einkum þó grasbíta, en getur hæglega borist í menn. Sjúkdómsins varð fyrst vart hérlandis 1865; þá drapst á annað hundrað fjár á bæ á Skarðsströnd. Um og eftir 1870 kom hann við og við upp víða um land en er nú fátíður. Víst þykir, að gerillinn hafi flutst til landsins við innflutning innfluttra húða.	margvíslegum iðnaði (t.d. mjólkuriðnaði), til ensýmvinnslu, og hin síðari ár hefur stórkostlegur árangur náðst á sviði erfðatækni. 5.4 Lífshættir gerla 5.4.1 Ófrumbjarga lífshættir Flestir gerlar eru ófrumbjarga, þ.e. geta ekki nýmyndað lífræn efni úr einföldum, ólífrænum efnum, heldur verða að fá lífrænu efnin úr öðrum lífverum. ROTGERLAR. Flestir ófrumbjarga gerlar eru rotverur, það er þeir stunda rotlífi og fá lífrænu efnin úr dauðum lífverum. Til rotvera teljast því gerlar en líka sveppir og frumdýr, en þessar lífverur valda rotnun og stuðla að hringrás lífræna efna í jarðvegi. Meðal loftháðra rotvera leiðir rotnunin til sundrunar á lífrænum efnum í koldíoxíð og vatn. Meðal loftfirrðra rotgerla fer fram gerjunarferli, þar sem stór hluti af orkuinnihaldi fæðuefnanna er ósundrað. Ólíkar tegundir gerla valda mismunandi gerjun og er nafn dregið af lokaafurðinni, til dæmis edikssýru-, mjólkursýru- og smjörsýrugurjun. Þess háttar gerjunarferli eiga sér stað, þar sem skortur er á súrefni eins og í loftlitlum jarðvegi og í botni stöðuvatna. Fyrr en seinna koma aðrir loftháðir gerlar við sögu og sundra lífrænu leifunum fullkomlega. Oft myndast vond lykt, þegar lífræn efni rotna. Óðunninn stafar af lofttegundum, sem verða einkum til úr nitursamböndum, þegar prótín rotna við loftfirrðar aðstæður. Við aðrar aðstæður er sagt, að hlutir <i>fúni</i>, en þá eru að verki loftháðir rotgerlar, og daunillar lofttegundir myndast ekki. SNÍKJUGERLAR. Í hópi gerla eru margir sníklar, sem leggjast í eða á hýsla, jafnt plöntur sem dýr. Margir þeirra eru <i>sýklar</i>, það er valda sjúkdómum. Sjúkdómseinkennin orsakast aðallega af eitri, sem er jafnan eitthvert prótín og myndast í gerlinum. Sumir sýklar leggjast aðeins á eina plöntu- eða dýrategund. Lekandagerill (<i>Neisseria gonorrhoeae</i>) og barnaveikisgerill (<i>Corynebacterium diphtheriae</i>) sýkja aðeins manninn, en miltisbrandsgerill (<i>Bacillus anthracis</i>) leggst á margar dýrategundir. Þá geta aðrar tegundir, sem að öllu jöfnu lifa í lífverum og valda ekki skaða, tekið sig upp og valdið sjúkdómum, eins og saurgerill, <i>Escherichia coli</i>. Sníkjulífi er ein gerð <i>samlífis</i> (symbiosis), það er náð sambýli tveggja tegunda, annarri til hagsbóta en hinni til skaða. Önnur gerð <i>samlífis</i> er svo nefnd <i>samhjálp</i>
---	---

	(mutualismus), en þá er sambýlinu háttað á þann veg, að báðir aðilar hafa gagn af. Gera má því skóna, að samhjálpin sé þannig til komin, að náðst hafi visst jafnvægi á milli sníkils og hýsils. Sem dæmi um samhjálp má nefna gerla í þörmum plöntuætna. Gerlarnir fá þar næringu en á móti gefa þeir frá sér vítamín og brjóta niður beðmi, svo að það kemur hýsli til góða. Annað dæmi er samhjálp margra plantna og niturbindandi rótargerla. Gerlarnir fá lífræn efni, sykur, frá plöntunni en þeir búa yfir þeim hæfileika að geta bundið nitur andrúmslofts og miðlað því til plöntunnar. Gerlarnir lifa á rótum plantnanna og mynda þar hnúða. Plöntur, sem lifa í sambýli með niturbindandi gerlum, geta lifað í mögrum jarðvegi, og eru því ákjósanlegar til þess að rækta upp ördeyða mela (t.d. alaskalúpína, <i>Lupinus nootkatensis</i>). Þriðja gerð samlífis er <i>gistilífi</i> (commensalismus). Þá nýtur önnur tegundin góðs af samlífinu en er hinni að meinalausu. Talið er, að gistilífi sé í raun ekki til, nema um mjög stuttan tíma í senn. <i>5.4.2 Frumbjarga lífshættir</i> LJÓSTILLÍFUN. Til eru að minnsta kosti fimm hópar af ljóstillífandi gerlum: (1) blágerlar (2) grænir brennisteinsgerlar (3) rauðfjólubláir brennisteinsgerlar (4) rauðfjólubláir gerlar (5) grængerlar, <i>Prochloron</i>-gerlar. Allar hafa þessir gerlar í sér laufgrænu eins og ljóstillífandi plöntur. Blágerlar og grængerlar hafa báðir laufgrænu <i>a</i>, eins og allir heilkjörnungar sem ljóstillífa og grængerlarnir laufgrænu <i>b</i> að auki. Laufgrænan í hinum hópunum er eilítið frábrugðin <i>a</i> og <i>b</i> gerðunum enda þótt grundvallargerðin sé hin sama. Einkennandi litir þessara hópa stafa af mismunandi hjálparefnum, sem taka þátt í ljóstillífuninni. Í báðum hópum rauðfjólublárra gerla eru litarefni gul og rauð karótínefni, en í blágerlum er, auk karótína, ávallt blátt litarefni, <i>fýkócýanín</i> og oftast rautt efni, <i>fýkóerýþrín</i>. Ljóstillífun í blágerlum fer fram á sama hátt og í heilkjörnungum. Í frumum þeirra eru staflar af samsíða frymishimnum og fjöldinn allur af netkornum, en laufgrænan er ekki bundin í grænuhornum. Afurðir ljóstillífunar eru líka hinar sömu í öllum gerlum, fjölsykran <i>glýkogen</i> (dýramjölvi). Í grænum og rauðfjólubláum brennisteinsgerlum gegnir brennisteinsvetni sama hlutverki og vatn í lífverum
--	---



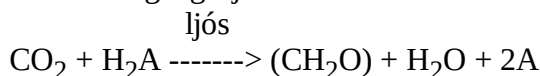
Æxlunarbrú á milli tveggja gerla.

með laufgrænu *a*, það er, þeir öðlast orku við að oxu brennisteinsvetni (eða brennistein) í brennisteinssýru:



Við þessi afoxunarefnahvörf, þar sem koldíoxíð og brennisteinsvetni hvarfast, myndast sykur [$\text{m} \cdot (\text{CH}_2\text{O})$], vatn og brennisteinn. Fyrir hverjar sex sameindir af koldíoxíði (6CO_2) verður til ein sameind af einsykru með sex kolatóm, til dæmis glúkósi ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$).

Það var einmitt við athuganir á tillífun í rauðfjólubláum brennisteinsgerlum, þar sem menn fyrst komust að heildargangi ljóstillífunarferlisins:



en H_2A táknar einhvern vetnisgjafa til dæmis H_2O eða H_2S .

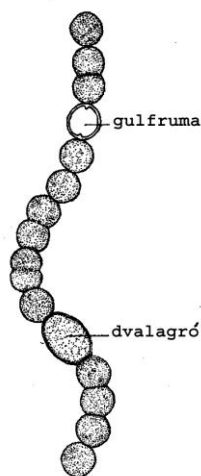
Í rauðfjólubláum gerlum eru það önnur efni, sem eru vetnis- eða rafeindagjafar í ljóstillífun, eins og alkóhól, fitusýrur og ketósýrur.

Brennisteinsgerlar eru háðar brennisteinsvetni, sem er loftkennd, veik sýra. Þeir lifa þar, sem mikil rotnun á sér stað, og leynir það sér sjaldan á lyktinni.

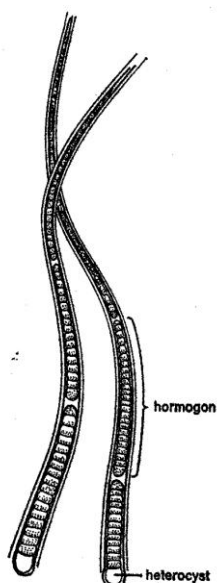
Rauðfjólublái gerillinn *Halobacterium halobium* er um margt einstök lífvera. Hann lifir á sólríkum stöðum við mjög háan saltstyrk. Í frymi hans eru á víð og dreif flekkir af rauðfjólubláu litarefni, sem líkist sjónpurpura (*róðopsíni*) í ljósnæmum skynfrumum í augum hryggdýra. Þessir flekkir virka sem afkastamiklar dælustöðvar við að dæla út prótónum, á líkan hátt og við oxaða fosfórun, sem gerist í hvatberum heilkjörnunga. Að því hafa verið leiddar líkur, að hvatberar hafi þróast af þessum rauðfjólubláu gerlum. Við efnaferlið virðist myndast ATP með hjálp ATP-asa ensýms, sem er að finna á frymishimnum utan við flekkina. *H. halobium* er því eina lífveran að undanskildum þeim, sem hafa laufgrænu, sem getur breytt sólarorku í efnaorku við ljóstillífun.

Fimmti hópur ljóstillífandi gerla eru grængerlar, ættkvíslin *Prochloron*, sem fannst árið 1970. Í þeim er bæði *a* og *b* laufgræna og karótín, eins og í grænþörungum og vefplöntum. Enn sem komið er hafa þeir aðeins fundist í sambúum möttuldýra (*Asciacea*) með ströndum fram í hita- og heittempraða beltinu. Í *Prochloron* er að finna sömu litarefni og í grænþörungum, svo að gera má ráð fyrir að forverar gerilsins hafi síðar þróast í grænkorn. Á hinn bóginn er þetta enn óvíst, því að nánari skyldleiki virðist með blágerlum og honum heldur en grænkornum grænþörungum og vefplantna hvað við kemur niðurröðun

	niturbasa í RKS-sameindum. EFNATILLÍFUN. Nokkrir gerlar geta vaxið í myrkri án lífrænnar næringar. Þeir eru frumbjarga án þess að ljóstillífa. Í stað sólarljóss nota þeir sem orkugjafa ýmis ólífræn efni, sem þeir oxa eins og nitur, brennistein og járnsambönd. Efnaferlið kallast efnatillífun, þar sem gerlarnir öðlast orku úr ólífrænu efnunum. Kolefnið fæst úr koldíoxíði, eins og hjá ljóstillífunarverum. Innan við 1% af lífrænum efnunum myndast við efnatillífun. Við sérstakar aðstæður í umhverfi er hún þó talin hafa mikla þýðingu fyrir sum líffélög. Efnatillífandi gerlar hafa fundist við útstreymisop á miklu dýpi við 360°C. Annað dæmi er mjög einangrað vistkerfi í afar djúpri gjótu í Pýreneafjöllum. Í algjöru myrkri þar lifðu skordýr og köngullær ásamt aragrúa örvera. Leirinn á botni gjótunnar er mjög járnríkur og þar uxu og döfnuðu nokkrar tegundir af járngerlum. Á örverunum lifa frumdýr, sem þá eru étin af litlu stærri dýrum og þau urðu síðan aðalfæða skordýra og köngullóa. Rotnun fer þar fram fyrir tilstilli gerla og sveppa eins og á öðrum stöðum. 5.5 Flokkun gerla Ekki er auðvelt að flokka gerla á sama hátt og »plöntur« og »dýr«. Meðal annars stafar það af því, að tegundarhugtakið er heldur óljóst, því að ytri einkenni eru heldur fátækleg og kynæxlun fágæt. Unnt er þó að beita ýmsum litunaraðferðum og rafeindasmásjáin auðveldaði mjög allar rannsóknir á gerlum. Til eru nokkur flokkunarkerfi, sem hafa reynst ágætlega. Hin síðari ár er ýmist farið að skipta ríki gerla í tvær fylkingar, raungerla (Eubacteria) og forngerla (Archaeobacteria) eða skilja þessa tvo hópa algjörlega að í tvö fylki, gerla (Bacteria) og fyrrur (Archaea). Hér verður þó ekki gerð grein fyrir flokkun gerla, en hins vegar rætt um tvo hópa, sem hafa all nokkra sérstöðu, blágerla og forngerla. 5.5.1 Blágerlar Blágerlar eru ljóstillífunarverur. Sumir eru einfrumungar, aðrir mynda þræði, oft greinótt og allt að einum metra á lengd, og enn aðrir mynda flögur (þal) eða óregluleg sambú (slý). Hér og hvar í þali þeirra eru <i>gulfrumur</i> (heterocyst) umluktar þéttum vegg. Hlutverk þeirra er óljóst, en þeim fjölga mjög, ef styrkur nitursambanda minnkar. Talið er líklegt, að þær eigi einhvern þátt í
--	---



Anabaena, × 450



Calothrix, × 400



Oscillatoria, × 700

Nokkrar gerðir blágerla.

niturbindandi starfsemi, því að í þeim er ensýmið nítrógenasi. Allar frumur blágerla, nema gulfrumur, geta skipt sér og myndað ný sambú. Eins og meðal annarra gerla eru frumurnar fastar saman á veggjunum eða slímhjúpur heldur þeim saman, svo að hver fruma er sjálfstæður einstaklingur; frymispræðir, sem ganga í gegnum vegg blágerla, hafa þó fundist í fáeinum tegundum.

Í frumum blágerla, einkum þeirra, sem eru svif í sjó og vötnum, eru óreglulegir loftbelgir. Þessir belgir auka mjög svifeiginleika, en að auki hjálpar þar til sífelld hreyfing og seigja vatnsins, sem eykst með lækkanði hita. Fyrir kemur vegna súrefnisskorts eða breytingar á hita, að blágerlarnir missa stjórn á lofti í blöðrum, og þær verða 2 til 8% af rúmfangi frumunnar, og þá fljóta þeir upp á yfirborðið, svo að vatnið verður gruggugt, dökkgrænt og ógagnsætt. Nefnist þetta vatna- eða þörungablómi. Mývetningar kalla það leirlos, en þar myndar tegundin *Anabaena flos-aquae* vatnablóma á nær hverju sumri. Nokkrar tegundir, sem mynda »blóma«, gefa frá sér eiturefni, sem geta stráðrepið aðrar lífverur.

Sem áður sagði eru allmörg litarefni til í blágerlum. Þrátt fyrir hið gamla nafn »blágrænþörungar« er aðeins tæpur helmingur blágrænn. Sumir hverjir eru rauðir, meðal annars *Trichodesmium erythraeum* og litar hann hafssvæði fagurrauð. Talið er, að nafn Rauða hafsins sé af honum dregið. Allmargar tegundir blágerla lifa í hverum hér á landi við 30 til 55°C. Í N-Ameríku er ein tegund, *Synechococcus lividus*, þekkt, sem lifir við 70 til 75°C.

Sumir blágerlar lifa í sambýli við aðrar tegundir. Sambýli þeirra og sveppa er svo náði, að þeir mynda sérstakar lífverur, sem nefnast *fléttur* (skófir). Mjög algengt er að finna þá í eða á öðrum lífverum, aðallega plöntum, en líka ýmsum dýrum eins og svömpum, amöbum, svipudýrum og þeir hafa meira að segja tekið sér bólfestu í holum hárum á ísbjarnarfeldi.

5.521 Fyrnur (forngerlar)

Einn hópur efnatillífandi gerla hefur vakið sérstaka eftirtekt manna hin síðari ár. Það eru svo nefndir metangerlar og lifa þeir víða eins og í meltingarvegi jörturdýra, í ýmsum plöntuúrgangi, hverum og á djúpsævi. Megnið af því mýragasi (metani), sem vitað er um í jörðu, hefur orðið til við starfsemi metanmyndandi gerla á fyrri öldum jarðsögunnar. Gerillinn *Methanothermus fervidus*, sem fannst fyrst í íslenskum leirhver, myndar metangas úr koldíoxíði og vetni og öðlast orku úr þeim efnahvörfum, svo að hann er frumbjarga. Fleiri tegundir forngerla lifa í

	leirhverum hér á landi, aðallega ættkvíslirnar <i>Thermoproteus</i>, <i>Thermofilum</i> og <i>Desulfurococcus</i>. Þessir gerlar lifa nokkurs konar brennisteinsöndun, það er nota brennistein sem vetnisþega en ekki súrefni eins og aðrar lífverur. Forngerlar eru um margt æði ólíkir öðrum gerlum. Innri efnaskipti eru um margt frábrugðin og í frumuveggnum er engin múramínsýra eins og í öllum öðrum gerlum. Niðurröðun niturbasa í rRKS sýnir, að forngerlar eru einstakir í sinni röð og að ekki er um að ræða náinn skyldleika við aðra gerla. Sennilegt er, að heilkjarna frumur séu af forngerlum komnar. Flest bendir til þess, að forngerlar hafi byrjað að þróast fyrir um 3 þúsund miljón árum, þegar lofthjúpur jarðar var súrefnislaus en þess í stað var ríkulegt magn af koldíoxíði og vetni.
--	---

Svöppur k. »sveppur, svampur; knöttur, kúla, ...«, *svöppur* líkl. <*swampu-, sbr. *svampur* og *soppur*, *sveppur* er yngri mynd af *svöppur* og hefur æxlást af þgf. et. og nf. (og þf.) ft. Líkl. skylt grísku *somphós* »svampkenndur, gljúpur«.

Ásgeir Bl. Magnússon:
Íslensk orðsifjabók.

Eins og þegar er getið, hafa veppir lengi verið álitnir fremur dularfullar verur, sem stafar af því meðal annars, að mestöll lífsstarfsemi þeirra fer fram niðri í moldinni, hulin sjónum vorum og jafnvel venjulegum rannsóknatækjum.

Helgi Hallgrímsson, 1987:
Sveppabaugar og huldurendur.

6. SVEPPIR

6.1 Flokkun

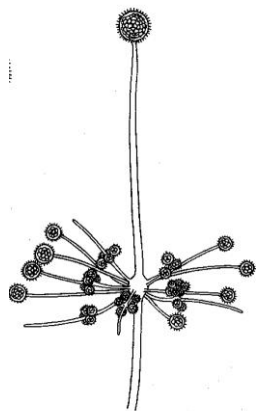
Af gamalli hefð eru sveppir oft taldir til plantna, þó að þeir séu ófrumbjarga. Þeir eru um marga hluti þó ekkert skyldari þörungum og vefplöntum heldur en dýrum. Að vísu eru margir sveppir þráðlega eins og sumir þörungar og aðeins fáir eru einfrumungar (gersveppir). Engar kvikar frumur koma fyrir í æviferli sveppa og engin bein þróunartengsl virðast vera á milli þeirra og vefplantna.

Steingerðir sveppir eru svo til óþekktir í jarðlögum og því er þróunarsaga þeirra lítið þekkt. Aðeins er unnt að draga ályktanir um uppruna þeirra út frá núlifandi tegundum. Elstu menjar, sem hugsanlega geta verið sveppir, eru um 900 miljón ára, en áreiðanlegar leifar um þá er að finna í 450 til 500 miljón ára gömlum jarðlögum frá ordóvísíum. Ljóst er þó, að fyrstu sveppir hafa verið einfruma heilkjörnungar, en frábrugðnir þeim, sem nú þekkjast. Fyrir um 410 miljón árum hófu lífverur að nema land, og leiddi það til þróunar á gríðarmiklum fjölbreytileika allra lífvera, ekki síður sveppa en allra annarra. Eldri sveppir kunna að hafa lifað í sjó og vatni, en erfiðlega gengur að rekja skyldleika þeirra við núlifandi tegundir. Flest rök hníga að því að fjalla um sveppi sem sjálfstætt ríki - *svepparíki*.

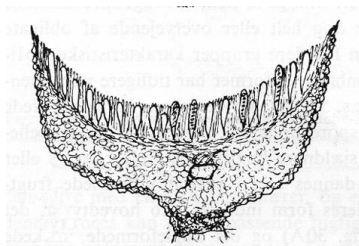
Hér er sveppum skipt í þrjár fylkingar og innan hinnar síðast nefndu eru taldir þrír flokkar, en að auki eru taldir tveir hópar, sem hafa óvissa stöðu innan flokkunar-kerfisins:

OKSVEPPIR (ZYGOMYCOTA)
ASKSVEPPIR (ASCOMYCOTA)
KÓLFSVEPPIR (BASIDIOMYCOTA)
Beðsveppir (Hymenomycetes)
Belgsveppir (Gasteromycetes)
Þelsveppir (Teliomycetes).
 [VANBURÐASVEPPIR (FUNGI IMPERFECTI)]
 [FLÉTTUR (LICHENES)]

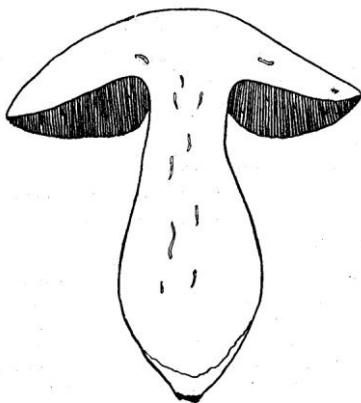
Allt er óvíst um skyldleika á milli þessara fylkinga. Ok-sveppir eru sér á báti. Þeir eru samfrumungar, en það merkir, að skil á milli frumna eru horfin, svo að úr verður



Oksveppur



Asksveppur



Kólfsveppur

samrunnin, óslitin heild með mörgum kjörnum. Í asksveppum og kólfsveppum eru skilrúm, götóttir frumuveggir, þar sem umfrymið getur flætt á milli óhindrað. Áður fyrr var álitid, að kólfsveppir væru komnir af asksveppum, en eins má telja víst, að því sé öfugt farið. Þessar þrjár fylkingar voru allar til í upphafi kolatímabilsins fyrir um 300 miljón árum. Eftir steingerðum leifum að dæma eru kólfsveppir miklu mun eldri en asksveppirnir, og styður það kenningu um, að þeir séu forfeður þeirra.

Auk þessara þriggja fylkinga er einn hópur sveppa einstakur og af sumum talinn sérstakur flokkur innan asksveppa eða jafnvel einstök fylking. Það eru *vanburðasveppir* (Fungi imperfecti). Til þeirra teljast tegundir, sem hefur ekki enn tekist að fella að ofan nefndri flokkun; sumir nefna þá »ófullkomna sveppi«. Áður var á það minnst, að *fléttur* (skófir) eru sveppir og þörungar eða blágerlar í sambýli. Svo nán tengsl eru á milli lífveranna tveggja, að litið er á fléttur sem sérstakar tegundir og er oftast fjallað um þær undir sveppum, því að sveppurinn er umfangsmeiri en hinn aðilinn.

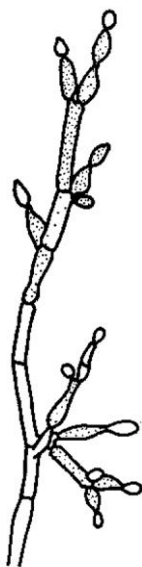
Nú hefur verið lýst um 100'000 tegundum af sveppum. Ekki er ósennilegt, að álíka margar tegundir til viðbótar leynist enn óskrðar. Af fléttum eru þekktar um 25'000 tegundir. - Til sveppa eru líka oft taldar ýmsar aðrar ófrumbjarga lífverur, sem hér eru taldar til frumvera (sjá 6. kafla), þar sem engin augljós tengsl eru á milli þeirra og eiginlegra sveppa. Af gamalli hefð bera þeir enn sveppanafn.

6.2 Bygging sveppa

Sveppir eru fyrst og fremst landlífverur. Flestir eru fjölfrumungar, þó að til séu nokkrar einfruma tegundir (gersveppir). Í raun er hver sveppur gerður úr þráðum, sem nefnast ímur (hyphae). Þræðirnir eru hárfínir og sjaldnast sjáanlegir, nema þeir vaxi margir saman á yfirborði hluta og kallast þá *mygla*. Knippi af þeim kallast *sveppþal* (mýsli, *mycelium*). Vöxtur ímu fer fram í broddinum en myndun prótína fer fram alls staðar í þræðinum og flytjast prótínin til innan ímunnar fyrir tilstilli frymisstrauma, sem eru ríkulegir í þræðinum. Það, sem flestum er tamt að kalla sveppi, svo nefndir stórsveppir, eru í raun knippi af slíkum þráðum, sem eru þétt ofnir saman.

Bæði vegna skjóts vaxtar og þráðlögunar sinnar hafa sveppir mikla sérstöðu með tilliti til umhverfisins borið saman við aðrar lífverur. Hlutfallið á milli yfirborðs og rúmmáls hjá sveppum er mjög hátt. Það merkir, að

	þeir eru í mikilli snertingu við umhverfið, ef svo má að orði komast. Enginn hluti sveppa er meira en örfáa míkrómetra frá umhverfi; það, sem skilur á milli, er þunnur frumuveggur og næfurþunn frumuhimna. Vegna þess hve svepphalið er víðfeðmt getur sveppur haft mikil áhrif á umhverfið, meðal annars með því að binda saman agnir í jarðvegi. Oft á tíðum gróa ímur saman, meira að segja þær, sem vaxið hafa frá tveimur gróum. Á þennan hátt getur myndast stór samfelld breiða af sveppþráðum. Fyrir því hve nán tengsl eru á milli sveppa og umhverfis, verða allir hlutir sveppsins að vera virkir. Í sumum plöntum er hluti vefja gerður úr dauðum frumum, svo sem viðarvefur, en slíkt er með öllu óþekkt meðal sveppa. Ensým og önnur efni, sem sveppir seyta út í umhverfið hafa áhrif þegar í stað og gegna mikilvægu hlutverki fyrir sveppina sjálfa. Allir sveppir eru klæddir með frumuvegg. Í vefplöntum og mörgum frumverum er hann gerður úr beðmi (sellulósa), ásamt öðrum sameindum eins og hálfbeðmi (hemísellulósa) og pektíni. Í sveppum hins vegar er frumuveggur úr annarri fjölsykru - <i>kítíni</i> - sem er líka að finna í skeljum og ytra stoðkerfi liðfætlna, svo sem skordýrum, kóngulóm og krabbadýrum. Kítínið hefur þann kost, að það er miklu þolnara gagnvart niðurbroti örvera heldur en beðmið. Sveppir hafa lífræðilega sérstöðu um marga hluti, sem enn er ekki að fullu þekkt. Eitt hið markverðasta er hvernig kjarnaskiptingu er öðru vísi háttað en í vefplöntum, vefdýrum og flestum frumverum. Á meðan á henni stendur hverfur kjarnahjúpur ekki. Spóluþræðirnir myndast inni í kjarnanum en deilikorn eru engin þekkt. Á síðasti stigi skiptingar herpist kjarnahjúpurinn saman á milli tveggja dótturkjarna og verður að tveimur. Þessi sérstaða undirstrikar enn frekar, að sveppir eru ekki nátengdir öðrum heilkjörnungum. Þá er vert að geta þess, að á engu æviskeiði þeirra koma fyrir frumur búnar svipum eða bifhárum. Meðal annars vegna þessa eru sveppir taldir til sérstaks ríkis. Kynæxlun sveppa er afar flókin. Æxlunarfærin eru skilin frá ímu með heilum vegg, og myndast kynfrumur, sem allar eru jafnstórar og eins að gerð (jafnfrjóvgun, isogamy), í sérstökum <i>kynhirslum</i> (gametangia). Nöfn á fylkingum sveppa eru dregin af þessum hirslum; <i>okfrumuhirsla</i>, <i>askur</i> og <i>kólfur</i>. Við samruna tveggja kynfruma, það er frjóvgun, verður til tvílitna <i>okfruma</i>, og skiptir hún sér þegar í stað meiósu-frumuskiptingu og verður að fjórum einlitna <i>meiósugróum</i>. Við kynlausa æxlun myndast gróin í svo nefndum <i>gróhirslum</i> (sporangia) hjá oksveppum en <i>kóníðuhirslum</i> (sprotagróhirslum) hjá ask- og kólfsveppum. Gróin, sem
--	--



Cladosporium herbarum.

verða til við kynlausa æxlun, myndast við mítósu og eru því réttnefnd *mítósugró*.

Upp af einni grófrumu getur sprottið fullvaxin lífvera. Gró sveppa geta ekki hreyft sig sjálf, eins og áður hefur komið fram og dreifast aðallega með vindi. Mörg þeirra eru mjög lítil og geta því svifið æði lengi í lofti og stuðlar það að víðáttumikilli útbreiðslu. Sum gró festast auðveldlega við ýmis dýr og dreifast með þeim. Nokkrar sveppategundir (skotsveppir, *Pilobolus* sp.) skjóta grónum hátt í loft upp.

6.3 Lífshættir sveppa

Sveppir geta vaxið við afar mismunandi aðstæður. Meðal annars getur tegundin *Cladosporium herbarum* vaxið við -10°C og skemmt kjöt, þó að það sé geymt í kæli. Þá vex ein tegund innan ættkvíslarinnar *Chaetomium* lang best við 50°C og þrífst meira að segja dável við 60°C .

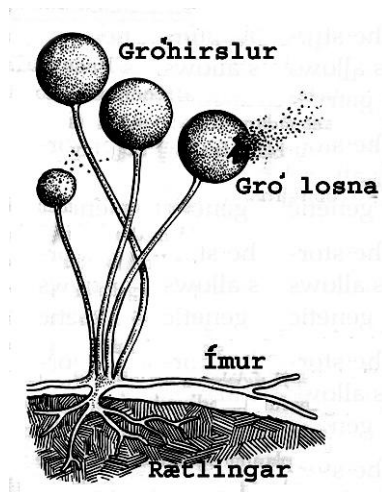
Allir sveppir eru ófrumbjarga. Þeir afla sér fæðu ýmist sem rotverur eða sníklar. Lífshættir þeirra eru því einkum með tvennu móti, *rotlífi* og *sníkjulífi*; að auki lifa margir í sambýli við aðrar lífverur. Þeir sofa til sín fæðu eftir að hún hefur að hluta til verið brotin niður áður fyrir tilstilli ensýma, sem sveppirnir gefa frá sér. Margir rotsveppir hafa einkar sérhæfðar ímur, *rætlinga*, sem festa þá tryggilega við næringarefnið, sem þeir lifa á. Sama er að segja um sníkjusveppi, sérhæfðar ímur, *þjófangar* (haustorium), draga næringu beint úr frumum hýsilsins. Sveppir leggjast miklu heldur á plöntur en dýr; öfugt við gerla.

Sumir sveppir, einkum gersveppir, geta losað orku við gerjun, eins og við myndun alkóhóls úr glúkósa. Helsta forðafjölsykra í sveppum er glýkógen eins og í dýrum og gerlum, en lípíð (fituefni) kunna einnig að safnast fyrir í nokkrum þeirra.

6.3.1 Rotlífi

Niðurbrot lífrænna efna - það er rotnun dauðra lífvera - er ekki síður mikilvægt en fæðing nýs lífs. Án dauða og rotnunar væri ekkert líf til. Sérhver sameind, sem er að finna í lífverum um stundasakir, er að meira eða minna leyti í sífelldri hringrás. Sveppir eru, ásamt ófrumbjarga gerlum og nokkrum ófrumbjarga lífverum öðrum, mikilvirkustu rotverur hér á jörðu. Við rotnun lífrænna efna losnar koltvíoxíð á nýjan leik út í andrúmsloftið og

	nitursambönd og önnur steinefni blandast öðrum jarðefnum og halda áfram óslitinni hringrás sinni í öðrum plöntum eða dýrum. Rotsveppir valda oft talsverðu tjóni á mannvirkjum. Í þeim myndast ensým, sem þeir seyta út í umhverfið og brjóta niður lífræn efni, hvort heldur það er fallið tré í birkiskógi eða girðingarstaur úr rekaviði. Hér er því um nokkurs konar útvortis meltingu að ræða. Rotninin er mest í hitabeltislöndum vegna þess að hiti og raki örva mjög vöxt sveppa. Í seinni heimsstyrjöldinni var talið að minna en helmingur af öllum aðsendum aðföngum í hitabeltinu hafi verið nothæfur vegna þess að sveppir lögðust á föt, málningu, pappambúðir, hjólbarða, leður, vaxefni, þotuelsneyti, einangrun á rafmagnsvírum, filmur og meira að segja hlífðarhúð á linsum í ýmsum sjóntækjum. Í raun má segja, að flest allt varð meira eða minna fyrir barðinu á rotsveppum. Í tempraða beltinu valda sveppir líka verulegu tjóni á matföngum. Þeir vaxa á brauði, grænmeti, ávöxtum, mjöli og mörgu öðru. Sveppirnir rýra verulega næringargildi fæðunnar auk þess sem þeir spilla bragði. Þá eru margir sveppir eitradir og þarf mjög lítinn skammt af eitri þeirra til þess að illa fari. <i>6.3.2 Sníkjulífi</i> Fjölmargir sveppir leggjast á lifandi lífverur og taka til sín næringu úr þeim. Nokkrar tegundir valda um leið ýmis konar, misalvarlegum sýkingum; talið er að um 5000 sveppategundir geti skaðað ýmsar nytjaplöntur og garðplöntur og einnig leggjast þær á villtar tegundir. Sumar tegundir lifa í viðarvef lifandi trjáa og skerða viðarframleiðslu hvers árs um óheyrilega marga teningsmetra. Sníkjusveppir geta verið svo aðgangsharðir gagnvart hýsli sínum, að hann drepst skjótlega. Sýnu fleiri eru þó dæmin um það, að sveppurinn lifi í áraraðir á hýsli án augljósrar kopunar; þess eru meira að segja dæmi, að sníkjusveppir valdi auknum vexti. Af nokkrum plöntusjúkdómum, sem sveppir valda, má nefna <i>reyniátu</i> á reyniviði og <i>birkiryð</i> á birkitrjám. Sjúkdómarnir hafa valdið nokkru tjóni hér á landi. Á milli sveppa og annarra lífvera eru margs konar önnur tengsl, eða aðrar gerðir samlífis eins og meðal gerla og annarra lífvera. Sem dæmi um samhjálp má nefna, að á rótum margra vefplantna (allt að 80%) lifa sveppir og mynda svo nefnda <i>svepprót</i>. Þá eru fléttur annað dæmi um samhjálp á milli sveppa og þörunga eða blágerla. Um hvort tveggja verður rætt síðar.
--	---



Brauðmyglusveppur (*Rhizopus stolonifer*).

6.4 Oksveppir

Um 600 tegundir hafa verið skilgreindar innan fylkingarinnar oksveppir. Flestir þeirra lifa á rotnandi plöntum og dýrum í jarðvegi. Sumir eru sníklar á plöntum, skordýrum og smávöxnum jarðvegsdýrum og örfáir geta valdið alvarlegum sýkingum í mönnum og húsdýrum. Flestar tegundir innan fylkingarinnar eru samfrumungar, það er ímurnar eru fjölkjarna, því að frumuveggir eru engir á milli frumna.

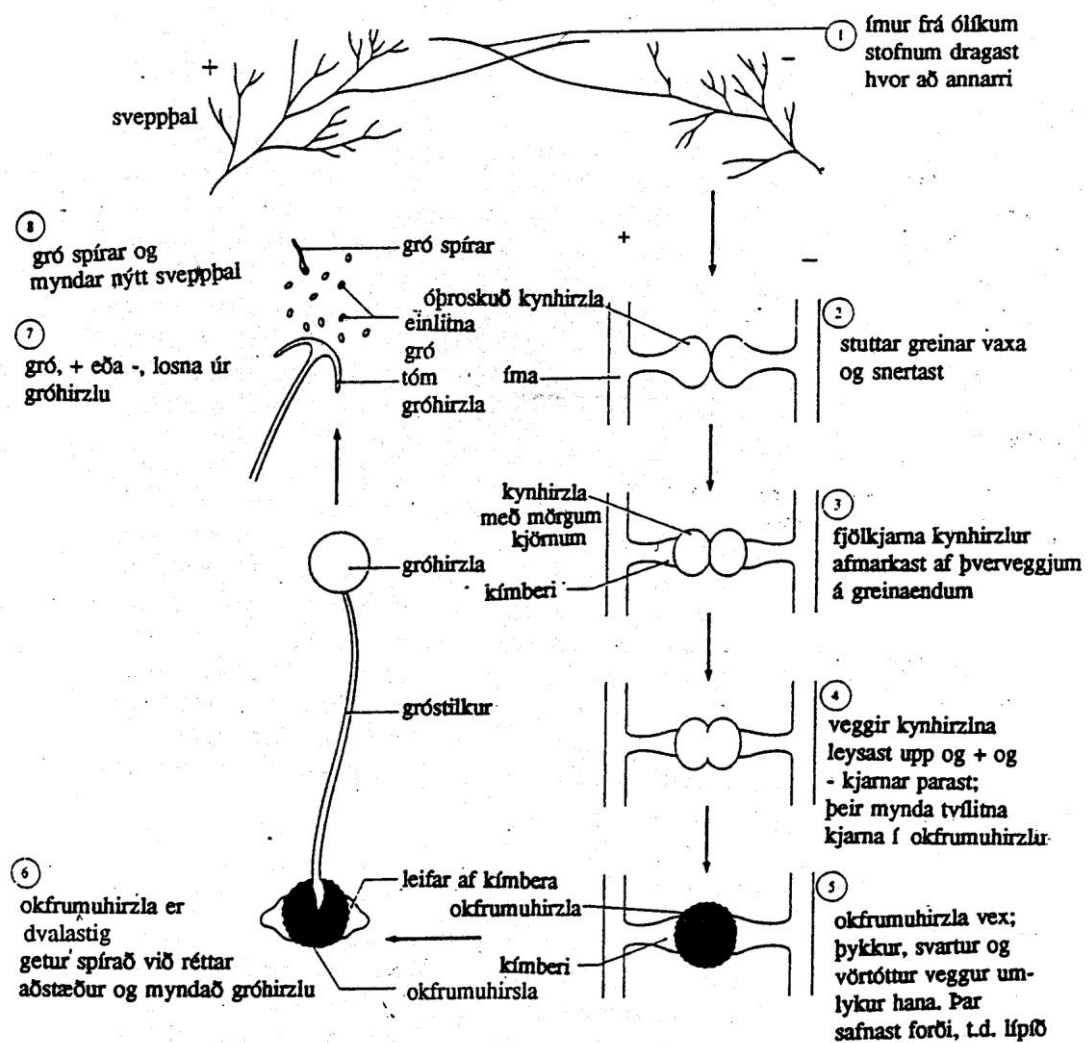
Mygla á brauði heyrir til þessum hópi, enda er »svarti brauðmyglusveppur« (*Rhizopus stolonifer*) einn þekktasti oksveppurinn. Hann lítur út eins og svartur ullarflóki á rökum, sykruríkum fæðutegundum. Sveppurinn nærast líka á ávöxtum og grænmeti og skemmir þau fljótt. Sveppbalið er úr þrenns konar einlitna sveppþráðum, ímum. Meginhluti þalsins er fljótsprottinn, vex á ætinu og dregur til sín mest af næringu. Út frá þessum ímum vaxa nokkurs konar renglur, sem mynda rætlinga alls staðar þar, sem broddur renglunnar snertir ætið.

Sveppurinn fjölgar sér mjög ört kynlaust. Beint upp af rætlingunum vaxa gróstíklar með gróhirslum á endum. Hver gróhirsla byrjar sem lítill hnúður, sem þenst út, og streyma frumukjarnar inn í hana. Að skömmum tíma liðnum afmarkast gróhirslan af nýmynduðum frumuvegg. Umfrymið innan hirslunnar hólfast niður og veggur tekur að vaxa utan um hvert gró. Gróhirslurnar verða svartar við þroskun og gefa sveppnum hinn einkennandi lit. Hvert gró, sem losnar, getur orðið að nýju þali. Þessi gró verða til við venjulega frumuskiptingu, mítósu og kallast því *mítósugró*.

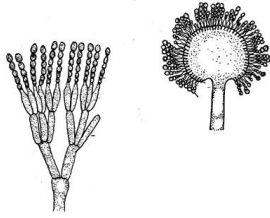
Fræðiheitið Zygomycota (gríska zygón: ok, helsi) er dregið af einu megineinkennum fylkingarinnar, sérstakri kynhirslu, *okfrumuhirslu*, sem myndast að loknum samruna tveggja fjölkjarna kynhirslna. Kynhirslurnar þurfa að vera á tveimur ólíkum ættstofnum, sem jafnan eru táknnaðir með + og –. Inni í okfrumuhirslunni verður til ein eða margar tvílitna okfrumur. Okfrumuhirslan er dvalastig, en við réttar aðstæður verður meiósa í okfrumunum, þær taka að spíra og mynda gróhirslur með aragrúa gróa. Þessi gró hafa orðið til við meiósu og kallast því *meiósugró*.

Okfrumuhirslan hefur á stundum verið kölluð okgró, en þar sem hún hefur að geyma marga tvílitna kjarna (okfrumukjarna) er það ekki alls kostar rétt

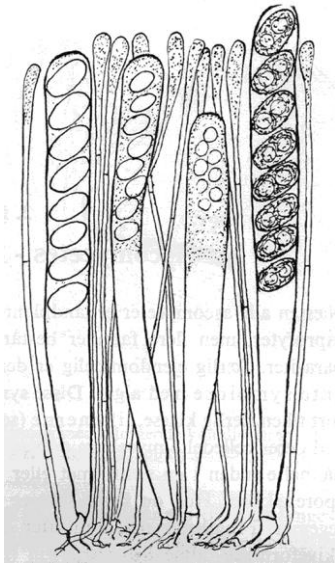
Myndin sýnir brauðmyglusvepp á æti.



Mynd 6.1. Æviferill brauðmyglusvepps (*Rhizopus stolonifer*).



Kóniðugró á pensillínsveppi (*Penicillium* sp.) og bursthýi (*Aspergillus* sp.)



Askar með gróum (mikil stækkun).

6.5 Asksveppir

6.5.1 Einkenni asksveppa

Um 30'000 tegundum hefur verið lýst innan fylkingar asksveppa. Asksveppir hafa verið nefndir ýmsum nöfnum öðrum eins og sekksveppir, pokagrósveppir og eskisveppir. Margir þeirra eru algengir og sumir hafa hagnýta þýðingu. Margar skrautlegar mygluskánir, rauðar, blágrænar og brúnar, sem skemma matvæli, heyra til asksveppa, svo og hinn laxaliti kimbasveppur *Neurospora* sp., sem mikið hefur verið rannsakaður í sambandi við athuganir í erfðafræði. – Hér á landi hefur verið getið um 590 tegundir asksveppa. Flestir vaxa á plöntum, dauðum og lifandi, rekaviði og taði.

Asksveppir eru allir þráðlaga á meðan þeir eru í vexti, nema gersveppir. Ímurnar eru venjulega með þverveggjum, sem eru götöttir, svo að umfrymið og kjarnarnir geta streymt um allan þráðinn. Hver fruma er ýmist með einum eða fleirum kjörnum. Á nokkrum tegundum er þalið einsleitt (homothallic) og geta hvaða þræðir sem er runnið saman en aðrar tegundir hafa misleitt þal (heterothallic), og geta aðeins + og – ímur runnið saman.

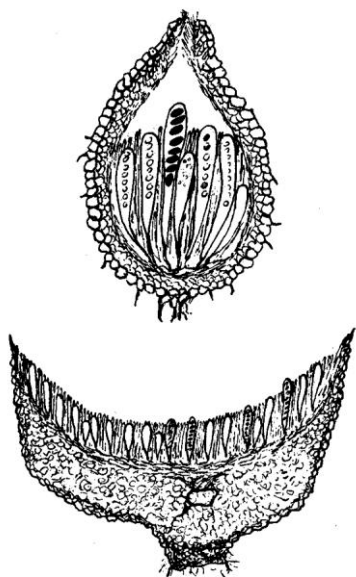
6.5.2 Kynlaus æxlun

Flestir asksveppir fjölga sér kynlaust með sérstakri gerð af mítósugróum og stuðla þau aðallega að útbreiðslu sveppsins. Þau nefnast *kóniðugró* eða sprotagró (conidia, dregið af grísku orði, sem merkir fínt ryk) og eru oftast fjölkjarna. Kóniðugróin verða til úr sérstökum móðurfrumum á kóniðusprotum. Sprotarnir greinast oft sérkennilega og geta vafist saman í sérlegar myndanir. Margar tegundir fjölga sér eingöngu með kóniðugróum.

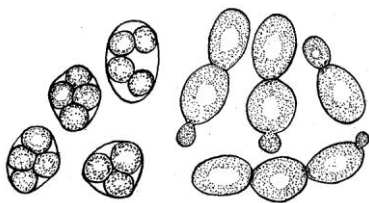
6.5.3 Kynæxlun

Kynæxlun felur ætíð í sér myndun á *aski* (ascus), sekklega hirslu með einlitna askgróum. Bæði askurinn og askgróin eru einstæðar myndanir, sem greina asksveppi frá öllum öðrum sveppum.

Askarnir myndast úr sérstökum frumum. Inni í þeim verða til að loknu flóknu ferli tveir kjarnar eftir að tveir óskyldir sveppþræðir hafa tengst saman. Þeir renna að lokum saman og mynda okfrumu. Stuttu eftir kjarnasamrunann byrjar að tagna úr askinum, og tvílitna



Tvær aðalgerðir af askhirslum. Í þeim þroskast askarnir.



Saccharomyces cerevisiae.

kjarni skiptir sér meiósu. Að henni lokinni verða til fjórir einlitna kjarnar. Venjulega fylgir mítósa strax á eftir, svo að til verða átta kjarnar, annars fjórir í hverjum aski. Þessir fjórir eða átta kjarnar innan frumunnar hólfast síðan af, þroskast og verða að fullmynduðum askgróum.

Í flestum asksveppum þrútnar askurinn við þroskun, en að lokum brestur hann og spýtir askgróunum út í loftið. Venjulega þeytast gróin aðeins um tvo sentímetra en þó eru til dæmi um, að þau þjóti allt að 30 sentímetra.

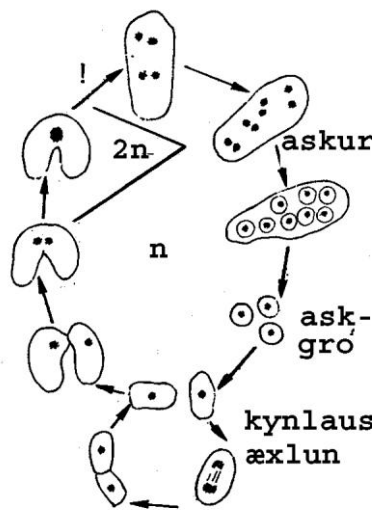
Askar verða til inni í sérstökum *askhirslum*, og eru margar þeirra vel sýnilegar. Í hverri askhirslu eru einnig ímur, sem urðu ekki að öskum og nefnast þær geldímur. Askhirslur eru einkum af tveimur gerðum, annars vegar meira eða minna opnar og diskлага (apothecium) eða flöskulaga með opi efst, þar sem askgróunum er skotið út (perithecium). Askhirslur aldrei fundist hjá þeim allmörgum tegundum og þær eru því taldar til *vanburðasveppa*.

6.5.4 Einfruma asksveppir: Gersveppir

Flestir gersveppir eru einfrumungar. Þeim fjölga venjulega kynlaust, við mítósu, og lítur út sem afkvæmisfruman vaxi út úr móðurfrumunni (knappskot) en sjaldnar með gróum. Kynæxlun verður við það, að tvær frumur eða tvö askgró sameinast og mynda okfrumu. Okfruman kemur í stað asks og innan hennar verður meiósa, svo að fjórir einlitna kjarnar myndast. Þá getur og mítósa fylgt í kjölfarið og verða kjarnarnir þá átta samtals. Frumuveggir myndast um kjarnana, sem þá verða að askgróum, askurinn rifnar eða grotnar og gróin rjúka út í veður og vind.

Mikilvægi gersveppa er ekki síst fólgið í því, að þeir geta valdið gerjun, það er brotið niður sykur og myndað vínanda (etanól) og koldíoxíð. Víngerðarmenn nota gersveppi til að framleiða vínanda, bakarar sækjast eftir koltvíoxíðinu og ölgerðarmennirnir eftir hvoru tveggja. Fram hafa komið margir ólíkir stofnar af gersveppum og hin síðari ár hafa þeir verið mikið notaðir í margvíslegum líftækniðnaði.

Kunnasti gersveppurinn við þessa framleiðslu er *Saccharomyces cerevisiae*, sem ranglega hefur verið nefndur ölgerill á íslensku. Af honum eru til margir stofnar. Tegundin er líka mjög mikið notuð við allskyns rannsóknir í erfða- og frumufræði. Korndrjólí (melaskítur; *Claviceps purpurea*) er annar gersveppur, sem myndar hörð og íbjúg »berserkjakorn« í axi grastegunda. Hann sýkir ýmsar korntegundir og eitrið í honum veldur svima, sjóndepru og samdrætti æða (drep í



Æviferill gersvepps.

Flestir asksveppir eru litlir og vart sýnilegir nema í smásjá. Nokkrir eru þó býsna stæðilegir og minna á hattveppi. Myndin sýnir sortuhnuðlu (*Helvella lacunose*) á Heiðmörk 13. sept. 2006. (Ljósm. ÁHB)

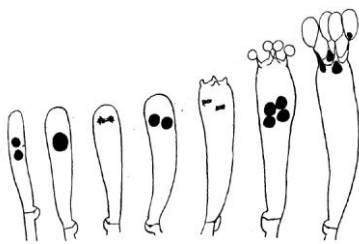
fingrum og tám). Nokkur lyf hafa verið unnin úr korndrjóla, meðal annars notað í fæðingarlækningum og mígrenulyfið *ergotamín*, enda nefnist korndrjóli *ergot* á ensku.

Þótt flestir einfruma sveppir séu asksveppir eru örfáir af ættkvíslum kólfsveppa, t.d. *Cryptococcus neoformans* og *Candida albicans*, sem báðir geta valdið sjúkdómum í mönnum. Ljóst þykir, að hinir einföldu einfrumungar hafa orðið til af flóknari gerðum, en sökum þess, hve fábrottnir þeir eru nú er örðugt að greina forfeður þeirra. Þróun gersveppa úr fjölfruma sveppþali hefur gerst á löngum tíma og oftar en einu sinni. Nú eru þekktar um 40 ættkvíslir gersveppa og heyra til þeirra um 350 tegundir. Þeir lifa bæði á landi og í vatni við ærið margbreytilegar aðstæður.





Gulbroddi (*Hydrum repandum*).



Vöxtur kólfa.

6.6 Kólfsveppir

Til þessarar fylkingar, kólfsveppa, heyra um 25'000 tegundir; ekki einungis þær, sem almenningur kallar sveppi, svo sem ullblekill, furusúlungur og lerkisveppur, heldur líka gorkúlur, ryð- og sótsveppir, sem sníkja á plöntum. Enda þótt kólfsveppir séu allvel þekktir, er talið næsta víst, að enn séu til margar óþekktar tegundir. Fjölbreytnin er mjög mikil innan fylkingarinnar. Víða um heim eru fjölmenn áhugamannafélög um gagnsemi og nýtingu sveppa.

6.6.1 Æxlun

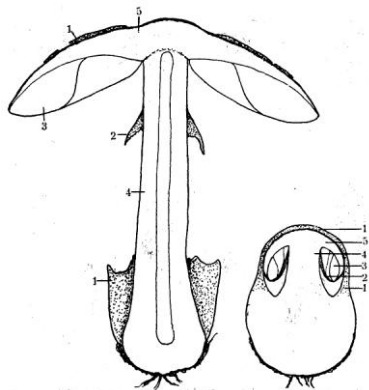
Kólfsveppir greinast frá öðrum sveppum á því, að þeir mynda *kólfgró* (basíðugró) á kylfulaga gróberum, sem nefnast *kólfar* (basidium). Venjuleg endafruma á ímu þroskast og verður að kólfi. Í frumunni eru tveir einlitna kjarnar. Þeir renna saman og verða að einum tvílitna kjarna. Sá kjarni skiptir sér fljótt meiðsu, svo að til verða fjórir einlitna kjarnar. Að þessu loknu myndast fjórir smáir nabbar ofan á kólfi, það tognar smám saman úr þeim og þeir verða að stuttum stilkum, með lítið eitt útblásnum belgjum á endum. Nú leita kjarnarnir fjórir hver í sinn stilk og út í belgina, sem verða að *kólfgróum*. Þegar gróin ná fullum þroska falla þau af.

Kólfarnir þurfa ljós til þess að þroskast. Sveppþalið, sem kólfarnir sitja á, tekur ýmsum breytingum við þroskunina og sveppþræðirnir sérhæfast til margvíslegra starfa. Sveppþalið með kólfunum raðar sér saman og myndar *gróbeð*. Inn á milli kólfanna eru *geldímur* og fingurlaga frumur, sem *þumlur* nefnast. Talið er, að þessir þræðir séu ófrjóir, ummyndaðir kólfar.

6.6.2 Flokkar kólfsveppa

Kólfsveppum má skipta í þrjá flokka eftir gerð gróbeðjar, *beðsveppi*, *belgsveppi* og *þelsveppi*. Til beðsveppa heyra flestir sveppir, sem almenningur þekkir hvað best, bæði ætir og eitradir. Þeir eru oft nefndir hattsveppir. Kólfgróin myndast utan á gróbeðinum gagnstætt því, sem gerist hjá belgsveppum, þar sem þau myndast inni í honum.

Beðsveppir minna einatt á staf með hatti eða hettu á (hattsveppir). Á neðra borði hattsins eru *fanir*, sem liggja eins og geislar út frá stafnum og minna á hnífsblöð. Þær eru alþaktar kólfum og fá á sig lit gróa, þegar þau eru full þroskuð. Fanirnar eru á stundum greindar eins og



Langskurður af ungum og þroskuðum hattsveppi.. 1. heildarhula (myndar hattflyksur og skeið), 2. fanhula (myndar hengsli og kraga), 3. fanir, 4. stafur, 5. hattur

Fýsisveppur. Þegar þessi sveppur er orðinn þurr, kallast hann kerlingareldur og græðisveppur. Þetta síðasta nafn hefur hann fengið af því hann græðir vel opin sár, sem ei eru djúp, og stillir hann blóðrás úr þeim, en hvortveggja verkar helst rykið sem í honum er; það er fræ [gró] hans. Það ryk er líka gott við ill fótasár. Finnar gefa þetta ryk kálfum við lífsýki, og blanda því í mjólk.

Ol. Borrichius ráðleggur að skera þennan svepp í tvennt og leggja hann yfir æð, sem skorin er í sundur til að stilla blóðrásina.

Það er almenn sögn, að ryk úr þessum sveppi þurru blindi mann, ef það kemur í augu hans.

Að hann sé eitur, ef hann kemur í maga manns, kann eg ekki fyrir víst segja, en ráðlegra mun að forðast hans nautn á meðan reynslan hefir ei helgað hann til manneldis,

Björn Halldórsson, 1783: Grasnytjar.

gaffall en tengdar saman með þverveggjum, svo að þær líta ekki út eins og hnífsblöð heldur þéttstæð hólf eða rör. Nafnið pípusveppir er af því dregið. Til þeirra teljast helstu matsveppir hér á landi eins og kóngssveppur, kúalubbi, lerki- og furusúlungur. Fólk, sem langar til þess að leggja sér sveppi til munns, en þekkir lítið til sveppa yfirleitt, er ráðlagt að halda sig við pípusveppi.

Þegar hattsveppir teygja sig upp úr mold eru þeir oft klæddir innri eða ytri *himnum* (hulum) eða hvoru tveggja, svo að þeir líkjast belgsveppum. Ytri himnan, *heildarhula* eða *reifar*, klæðir allan sveppinn, en innri himnan, *fanhula*, umlykur hattbörðin og nær niður á staf. Á fullþroskuðum sveppi má oftast sjá leifar af þessum hulum og hafa þær sérstök nöfn, enda mjög mikilsverð greiningareinkenni (sjá mynd). Leifar heildarhulu á hatti nefnast *hattflyksur* en *skeið* á stafnum. Leifar fanhulu á staf nefnast *kragi* (eða hringur) og *hengsli* á hattbarði. Þeir hattsveppir, sem hafa engar himnur um sig eru sagðir *berir*.

Nokkrar tegundir beðsveppa skortir hina dæmigerðu lögun og verða því trauðla nefndir hattsveppir. Þeir eru margbreytilegir að lögun og eru nefndir *vanfönungar* eða *hattleysingar*.

Í *belgsveppum* þroskast kólfró í lokuðum gróhirlum, ýmist í eða ofan á jarðvegi. Belgurinn utan um kólfróhirluna er hnöttóttur, egg-, peru- eða bikarlaga og nefnist *byrða* og er úr tveimur lögum.

Hér á landi vaxa um þrjátíu tegundir belgsveppa. Kunnastur þeirra er sortukúla eða kerlingareldur (*Bovista nigriscens*), sem þykir ágætur matsveppur. Innan í belgnum, þar sem gróin þroskast, er sveppþalið, *gyrjan*, oft ostkennt (merarostur) í byrjun, þá verður það gulbrúnt og að lokum þurrt eins og ull og rjúka gróin út í veður og vind við minnstu snertingu (kerlingareldur). Nafnið *fýsisveppir* er að því dregið, að gróin rjúka út um kringlótt op, sem myndast á þroskuðum belgnum við minnstu snertingu.

Í hreiðursveppum geymast kólfróin í smáum kúlulaga hylkjum, *byrðlingum*, í botni byrðunnar, sem opnast með stóru opi að ofan. Byrðan líkist hreiðri og byrðlingum svipar til eggja í hreiðri; er nafnið af því dregið.

Til *þelsveppa* teljast tveir stórir ættbálkar, *ryðsveppir* og *sótsveppir*. Þeir mynda engan eða mjög lítinn gróbeð og greinast á því frá öðrum kólfsveppum. Kólfar þeirra eru oft skiptir í fjórar frumur, og því eru þeir nefndir *brotkólfungar*. Þessir sveppir eru yfirleitt sníkjusveppir á plöntum og geta valdið stórtjóni.

Ryðsveppir eru oft á neðra borði blaða og mynda þar ryðbrúnar eða gulbrúnar skellur. Eins og nafnið

bendir til mynda sótsveppir svartar, sótkenndar skellur á ýmsum plöntum.

6.7 Svepprót og nornabaugar

Margar tegundir sveppa (einkum hattssveppa) eru háðar trjám. Þær þurfa þó ekki að vera sníkjuverur, heldur mynda þær svo kallaða svepprót. Meðal þessara tegunda myndar sveppþalið hulstur umhverfis ungar trjárætur og smýgur inn á milli frumna í ystu lögum rótar (útræn (ektotrof) svepprót). Sumir sveppir skjóta þjóföngum inn í frumur (ektendotrof svepprót). Ræturnar bólga, missa rótarhárin og verða marg-greinóttar. Svepprótar-myndunin er mörgum sveppum nauðsynleg, því að þeir fá sykrur úr trjánun. Samlífi svepps og trés er þó flóknara en svo og má líta á það sem hag beggja, *samhjálpa*, því að tréð fær vatn og nitursambönd frá sveppnum. Nærri öll skógartré lifa í sambýli við sveppi og sum tré við fleiri en eina tegund. – Einnig er til hin þriðja gerð af svepprót, innræn (endotrof), en þá eru ímur aðallega inni í sjálfum rótarfrumunum en lítið á milli á þeirra.

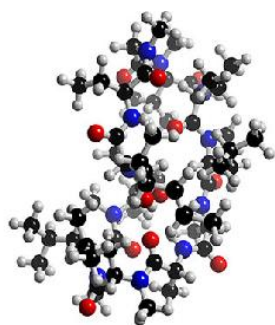
Jarðvegssveppir mynda oft svo kallaða *sveppabauga* (álfahringi). Sveppþalið gefur frá sér efni, sem smám saman dregur úr vextinum, svo að hann heldur aðeins áfram í hring umhverfis gamla þalið. Sveppurinn hefur líka áhrif á grasvöxt og örvast vöxturinn einkum þar, sem nitursambönd losna helst. Gamalt sveppþal veldur hins vegar því, að verulega dregur úr grasvexti. Orsök þess er ókunn. Þessu fylgir mismunur í grasvexti, svo að myndast hringir, nornabaugar, sem geta orðið nokkrir metrar í þvermál.

6.8 Vanburðasveppir (Fungi imperfecti)

Allmargar tegundir sveppa mynda ýmist engin gró eða aðeins kóníðugró. Þeir eru sagðir ófullkomnir («imperfect») eða vanburða, því að kynhirsulur eru óþekktar, svo að ekki er unnt að flokka þá með öðrum tegundum, sem fjölga með kynæxlun (eru »perfect«). Nú hefur verið lýst um 25'000 tegundum, þar sem kynæxlun er óþekkt. Einstaka sinnum hefur tekist að finna eina og eina tegund, þar sem kynæxlun kemur fyrir, og hefur tegundin þá verið flutt á sinn stað í kerfinu, en þó eru þær oft látnar óhreyfðar af handhægum ástæðum. Það hefur komið í ljós, að flestar tegundir vanburðarsveppa teljast til asksveppa en nokkrar þó til kólfsveppa eins og sjá má á gerð sveppþráða. Kynæxlunarlíki er allalgengt meðal



Þverskurður af hálfum nornabaug. 1. eðlilegur vöxtur inn við miðju, 2. grösugur innri hringur, 3. gróðurvana belt, 4. grösugur ytri hringur, 5. eðlilegur vöxtur utan hringa, m. sveppímur í jarðvegi.



Syklóspórín.

vanburðasveppa og sýnist koma að nokkru leyti í stað kynæxlunar. Hópurinn vanburðasveppir er ekki fræðileg flokkunareining innan kerfisfræðinnar en samt má líta á hópin sem flokk eða fylkingu.

6.9 Sveppir og menn

Enda þótt ýmsir sveppir séu mönnum til mikils miska og sumir hverjir lífshættulegir, eru aðrir til verulegs ávinnings. Allmargar tegundir eru til mikilla nytja, því að þær framleiða efni, sem víða koma að gagni. Þeir hafa verið notaðir frá ómuna tíð og enn er verið að uppgötva ný efni í þeim. Gersveppir eru notaðir við ostagerð og bakstur, meðal annars vegna þess að þeir mynda koldíoxíð (CO_2), og þeir mynda líka etanól (vínanda). Ýmis efni í sveppum eru notuð sem lyf eins og penísillín, sem var fyrsta fúkalyfið.

Árið 1979 var hafin framleiðsla á lyfinu syklóspóríni, en það er einangrað úr jarðvegssveppi (*Tolypocladium inflatum*). Þetta er hringsameind, gerð úr 13 amínósýrum, og hefur ein sýran hvergi fundist annars staðar í náttúrunni. Syklóspórínið er gætt þeim eiginleika að bæla ónæmiskerfi líkamans, svo að meiri líkur eru á því en áður að líkami sjúklings hafni ekki í græddu líffæri. Önnur hliðstæð lyf, hafa þann ókost að drepa mergfrumur í beini, svo að sjúklingar fengu oft hvítblæði í kjölfar ígræðslu.

Vanburðasveppir hafa mikla hagnýta þýðingu. Til að mynda eru fáeinar tegundir af ættkvíslinni *Penicillium* (pensilhý), sem gefa osti sérkennilegt bragð og ilm að dómi sælkera. Sú saga er sögð, að bóndasonur hafi gleymt nestisþakka sínum í helli skammt frá þorpinu Roquefort í Frakklandi. Þegar hann náði í nestið að nokkrum vikum liðnum var osturinn í þakkanum orðinn ilmandi og morkinn. Þótti hann svo góður, að menn tóku að framleiða slíkan ost, sem nú gengur undir nafni dregið af heiti þorpsins og er öðrum óheimilt að nota það. Sveppurinn, sem breytingunum olli og þrífst þarna í hellum, heitir *Penicillium roquefortii*. Annar sveppur af sömu ættkvísl er *P. camembertii*, sem gefur kamemberosti sérlegt bragð. Í Austurlöndum fjær eru bursthýstegundir (mynd 6.7), *Aspergillus oryzae* og *A. soyae*, notaðar ásamt mjólkursýrugerlum til að búa til ýmsa sojabaunarétti. Tegundin *A. oryzae* er líka notuð við framleiðslu á hinu þekktu japanska hrísgrjónavíni ásamt *Saccharomyces cerevisiae*. Sítrónusýra er framleidd á þann hátt, að bursthý (*Aspergillus*) er látið vaxa í breiðum við mjög súrar aðstæður.

Fúkalyf eru efni sem myndast í einni lífveru en



Hringskyrfi hefur greinst nokkrum sinnum á Íslandi. Þetta er búfjársjúkdómur en leggst á stundum á men.

hefta vöxt annarrar (eins og gerla) og koma sum þeirra mönnum til góða. Allmörg fúkalyf eru framleidd úr vanburðasveppum. Fyrsta fúkalyfið var uppgötvað 1928. Þá vildi svo til, að sveppurinn *Penicillium notatum* blandaðist við *Staphylococcus* gerla, sem verið var að rækta á næringaræti. Vöxtur gerlanna stöðvaðist algerlega og fengu menn þá hugmynd um að nota sveppinn sem lyf. Tíu árum seinna tókst að framleiða hreint penísillín og hafin var stórfelld framleiðsla á því. Í síðari heimsstyrjöldinni jókst framleiðsla þess gífurlega enda reyndist það frábærlega vel við ýmsum sjúkdómum, sem gram-jákvæðir gerlar valda. Af þeim má nefna sárásótt (sýfilis), lekanda, lungnabólgu og barnaveiki.

Sum efni í sveppum eru mjög eitruð og geta líka valdið krabbameini, eins og aflatoxín, sem myndast í vissum stofnum af *Aspergillus flavus* og *A. paraciticus*. Sveppir þessir ná á stundum að vaxa í fæðuefnum (t.d. jarðhnetum) og valda miklu heilsutjóni.

Húðsveppir (dermatophytes; úr grísku *dermatos*, skinn og *phyton*, planta) eru oft taldir til sérstaks hóps innan vanburðasveppa. Þeir valda oft þrálátum sjúkdómum í húð, svo sem hringormi (reformi), hringskyrfi, geitum og fótsveppum. Einkum eru sjúkdómar þessir algengir í löndum hitabeltis. Flesta sveppina hefur tekist að ákvarða sem asksveppi, en þar sem þeir valda sjúkdómum á kynlausu æviskeiði sínu, eru þeir enn taldir til vanburðasveppa. Hringormur lýsir sér sem hringmyndaðir, hreistursblettir með lítið eitt dökkleitari upphækkuðum garði í jöðrunum. Nokkrar tegundir, sem lifa á mönnum, þrífast líka á skepnum. Skemmst er að minnast sveppasýkingar af völdum *Trichophyton mentagrophytes*, sem varð vart í hrossum hér á landi sumarið 1992.

Sveppir þrífast best á rakri og heitri húð, til að mynda undir brjóstum og í leggöngum kvenna, undir höndum, í lærkrikum og á milli tánna. Sveppirnir gefa frá sér efni, sem drepa húðgerla, en þeir eru venjulega um 2 milljónir á hverjum fersentímetra og verja húðina. Þessir sveppir uxu líka á rökum trégólfum á ýmsum sundstöðum hér fyrr á árum og smituðust margir við að ganga þar berfættir. Víða var komið fyrir grunnum pönnum með 1% lausn af natríumhypoklóriti, sem menn voru látnir vaða yfir bæði fyrir og eftir sundspretti. Sveppirnir nærast á trefjaprótíninu keratíni í húðinni.

Þá má að lokum minnast á matsveppi. Neysla þeirra hefur mikið aukist hin síðari ár. Íslenska sveppaflóran hefur auðgast mikið af gómsætum sveppum með aukinni ræktun trjáa á síðustu áratugum.



Á myndunum má sjá hrúðurfléttu, blaðfléttu og runnfléttu.

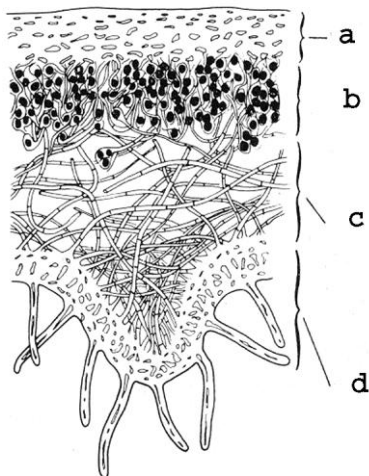
6.10 Fléttur

Fléttur (skófir) eru sambýli tveggja tegunda, sem fléttast saman. Önnur tegundin er sveppur, oftast asksveppur, og hin er grænþörungur eða blágerill. Vert er að veita því athygli, að sveppurinn er ófrumbjarga og hinn aðilinn er frumbjarga. Af um það bil 30'000 tegundum asksveppa geta 20'000 myndað þess háttar sambýli með frumbjarga tegundum, sem heyra til um 26 ættkvísla. Fáeinir kólfsveppir mynda fléttur, er vaxa einkum í hitabeltinu; þekktust er ættkvíslin *Cora*. Af frumbjarga lífverum eru grænþörungar innan ættkvísla *Trebouxia*, *Pseudotreboouxia* og *Trentepohlia* og blágerill, *Nostoc* sp., lang algengastar og um 90% af fléttum hafa eina af þessum fjórum ættkvíslum í sér.

6.10.1 Útlit og nytjar

Fléttum má skipta í þrjá hópa eftir vaxtarlagi þalsins: (a) hrúðurfléttur, (b) blaðfléttur og (c) runnafléttur. – Þal hrúðurfléttna er sem hrúður eða skorpa á ýmsu undirlagi, svo sem berki, steinum eða jarðvegi. Oft er þalið grafið niður í undirlagið og sést aðeins sem mislitir flekkir. Hróðrið getur verið örþunnt eða allt að nokkrir millímetrar á þykkt. Ýmist er það heilt eða sundurskorið af sprungum, alsett litlum bleðlum. Blaðfléttur breiða líka úr sér yfir undirlagið, en eru oftast lausar frá því eða festar með litlum rætlingum, sem auðvelt er að losa. Lögum bleðlanna er með marvíslegu móti, heil eða meira eða minna flipuð. Runnafléttur eru uppréttar, hangandi eða skriðular. Sveppþalið er sívalt eða lítið eitt hliðflatt og oft ríkulega greinótt. Þalgreinarnar geta verið holar, fylltar lausum ímum sveppsins eða sterkum miðstreng. – Þessi skipting eftir útliti er ekki algild, því að ýmis millistig koma fyrir.

Litur fléttna er mjög breytilegur. Þær eru til í öllum regnbogans litum, rauðar, gular, grænar, brúnar, svartar og hvítar. Í þeim eru oft sérstök efnasambönd (þekktar eru um 200 fléttusýrur), og er unnt að nota þau til að greina fléttur til tegunda. Fléttur hafa verið notaðar til litunar um allan heim; til að mynda er sérkennandi litur á hinu velþekktu »Harris tvídefni« árangur litunar með fléttum. Litarefnið »orcein«, sem meðal annars er notað til að lita litninga, var áður unnið úr fléttum. Hér á landi var ullarband oft litað með svo kölluðum »litunarmosa«, sem reyndar er flétta (*Parmelia saxatilis*) og ætti að heita litunarskóf. Hún er mjög algeng á klettum og gefur brúnan eða rauðbrúnan lit. Um langan aldur hafa fléttur verið notaðar hér til lækninga og matar og má minna á



Þverskorin flétta. A. efra barklag, b. þörungslag, c. mergur og d. neðra barklag með rætlingum.

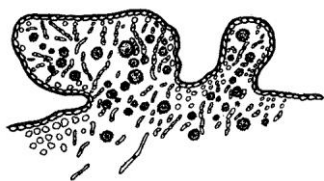
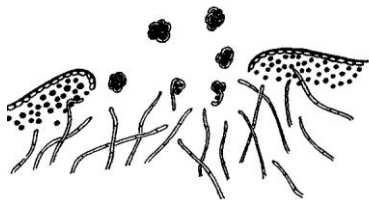
fjallagrösín (*Cetraria islandica*), sem eru kunn af lækningamætti sínum. Víða um heim eru þær notaðar til matar og brauðgerðar. Mannaflettur (*Lecanora esculenta*) vaxa víða í fjallahéruðum fyrir botni Miðjarðarhafs og berast með vindum niður á láglendið. Hið umtalaða manna í biblíunni er einmitt talið vera þessi tegund. Sumar tegundir eru hafðar sem dýrafóður (meðal annars svo nefndar hreindýrafléttur af ættkvíslinni *Cladonia*) og til skreytinga. Tegundirnar *Letharia vulpina* og *Cetraria pinastri* voru notaðar til að eitra fyrir úlfa en hvor um sig inniheldur mjög eitraðar fléttusýrur (vúlpínsýru og pínastínsýru). Margar fléttur innihalda »usninsýru«, en hún hefur reynst mjög gerladrepandi. Þá má geta um ilm- og snyrtivörur, sem unnar eru úr fléttum.

6.10.2 Sambýli svepps og ljóstillífunarveru

Sambýli svepps og grænþörungs (eða blágerils) hefur löngum þótt forvitnilegt. Sveppurinn er miklu fyrirferðarmeiri, ver ljóstillífunarveruna og ræður útliti fléttunnar. Nýverið var leitt í ljós, að ein sveppategund getur myndað mjög mismunandi fléttur með óskyldum grænþörungum eða blágerlum, sem flokkaðar hafa verið til mismunandi ættkvísla. Grænþörungur og blágerlar, sem í fléttum vaxa, lifa líka sjálfstæðu lífi en sveppategundirnar eru eingöngu bundnar við fléttunnar.

Tilraunir, þar sem ^{14}C -merkt koldíoxíð var notað, sýndu, að sveppurinn fær lífræn næringarefni úr grænþörungnum eða blágerlum. Í fléttum með niturbindandi blágerlum eins og *Nostoc* spp. kom í ljós, að sveppurinn nýtur einnig góðs af starfsemi blágerlanna. Sveppþræðirnir vefja sig utan um ljóstillífunarfrumurnar og sendir sníkjuþræði sína inn í þær. Þá hafa sveppirnir áhrif á starfsemi frumnanna, því að grænþörungur sumir hverjir mynda sérleg alkóhól, D-sorbitol og D-ribitol, aðeins í sambýli við þá.

Í tilraunum hefur verið unnt að skilja sveppi frá ljóstillífunarverum og láta hvora um sig vaxa í ræktun. Við slíkar aðstæður myndar sveppurinn þétt sambú og líkist á engan hátt viðkomandi fléttum í útliti. Til þess að vel megi takast þarf hann fjöldann allan af fjölsykrum en aldrei hefur hann myndað gró við þessar aðstæður. Á hinn bóginn þrífast ljóstillífunarverurnar miklu betur einangraðar en í sambýli við sveppinn. Af þessu hafa sumir dregið þá ályktun, að miklu nær væri að segja að sveppurinn lifði sem sníkill á grænþörungum og blágerlum fremur en að hér sé um sambýli að ræða eins og venja er að tala um.



Efri mynd sýnir sóríður og hin neðri ísíður.

6 .10.3 Æxlun

KYNLAUS ÆXLUN. Úr mörgum fléttutegundum losna sérlegir bútar á efra borði, sem stuðla að kynlausri æxlun fléttanna. Í hverjum bút eru ímur sveppsins og þörungar (eða blágerlar) tvinnuð saman. Bútarnir eru af tveimur gerðum og ganga undir nafninu *sóríður* og *ísíður*.

Á stundum fjölga fléttum á þann veg, að slitrur úr fléttu brotna úr þalinu, berast með vindum og ná að vaxa á nýjum stöðum. Við kynlausa æxlun dreifast sveppurinn og þörungurinn (eða gerillinn) samtímis og samlífi beggja er tryggt.

KYNÆXLUN. Sveppir fléttunnar mynda oft askhirslur og eru þær líkar að allri gerð og á öðrum sveppum; þó eru þær endingarbetri og geta haldið áfram að framleiða askgró í fjölda ára. Við kynæxlun dreifast aðeins gró sveppsins, og því verða þau að lenda á þörungum (eða blágerli) til þess að upp vaxi flétta.

6 .10.4 Vaxtarstaðir

Vegna sambýlis tveggja lífvera eru fléttur með harðgerðustu lífverum og geta vaxið við óblíðar aðstæður. Þær lifa jafnt í þurrum eyðimörkum sem á köldum heimsskautum, og vaxa á nakinni jörð, trjástofnum, sólbökuðum klöppum, girðingarstaurum og háfjallatindum um heim allan. Fléttur eru oft meðal fyrstu landnema á nýju hrauni og landi, sem kemur undan jökli (t.d. hraunbreyskingur *Stereocaulon vesuvianum* og engjaskófin *Peltigera venosa*). Ein tegund, *Verrucaria serpuloides*, vex alveg í sjó og hér við land er henni náskyld tegund, fjörusverta (*V. maura*), sem myndar svartar skánir á klöppum efst í fjöru. Fléttutegundir, þar sem frumbjarga lífveran er blágerill, gegna einkar mikilvægu hlutverki á áður ónumdu landi, því að þær binda nitur andrúmsloftsins.

Hvernig geta fléttur þrífist þar, sem flestum öðrum lífverum eru allar bjargar bannaðar? Eitt sinn var það trúá manna, að sveppurinn verði hina frumbjarga lífveru fyrir ofþornun. Nú er hins vegar talið, að ein meginástæðan fyrir þoli fléttanna sé einmitt sú, að þær þorni upp svo fljótt, sem raun er á. Vatnsinnihald fléttna er venjulega mjög lítið, aðeins 2 til 10% af þurrvikt. Þegar fléttur ofþorna, hætta öll ljóstillífur; í þessu »dauðadái« geta þær hjarað um lengri tíma, meira að segja í miklu sólskinu eða við ofur hita eða kulda. Það hlé, sem verður á ljóstillífur er komið til vegna þess, að efra borð fléttunnar verður þykkara og þéttara en ella, þegar hún þornar, svo



Hér er verið að þurrka fjallagrös.

að ljósgeislar ná ekki til frumna, sem ljóstillífa. Á hinn bóginn eru rakar fléttur viðkvæmar og eyðileggjast í miklu skini sólar eða hita, sem þurrar fléttur þola.

Þá er fléttur vökna, draga þær til sín 3 til 35 sinnum eigin þunga af vatni á skömmum tíma. Sé þurru og stökkum fléttum dýft í vatn, verða þær mjúkar og linar. Þær draga í sig vatn eins og þerriblað. Hámarksvirkni í ljóstillífun ná þær, þegar þær byrja að þorna, stuttu eftir að þær eru orðnar gegnvotar; hér um bil þegar þær hafa um 65 til 90 % af því vatni í sér, sem þær mest geta geymt. Haldi þær áfram að þorna dregur smám saman úr hraða ljóstillífunar. Víðast hvar eru miklar dagssveiflur á vatnsinnihaldi þeirra. Tími ljóstillífunar á degi hverjum er sjaldnast lengri en fáeinar klukkustundir, oftast nær snemma á morgnana áður en sól nær að skína á þær. Af þessum sökum er vaxtarhraði lítill, oft ekki meiri en 0,1 til 10 millímetrar á ári. Af stærð sumra fléttna hefur verið reiknað út, að þær geta orðið fjörgamlar eða um 4'500 ára eða meira. Mestum þroska ná þær við sjávarstrendur eða í þokubeltum á háfjöllum.

Fléttur geta dregið til sín ýmis efni úr undirlagi, sem þær vaxa á, en að mestum hluta taka þær næringarsteinefni til sín úr andrúmslofti og regnvatni. Að auki safnast í þær ýmis frumefni úr lofti og regni, því að þær hafa engan útbúnað til þess að losa sig við úrgangsefni. Mörg eitrefni drepa ljóstillífunarfrumurnar og eru fléttur því góður mælikvarði á mengun í andrúmslofti, og hafa verið notaðar sem slíkar. Einkum eru þær viðkvæmar fyrir brennisteinssamböndum, en þau eyðileggja laufgrænu. Víða í stórborgum fá engar fléttur þrifist vegna þessa en annars staðar eru þær notaðar til þess að mæla magn þungmálma, því að þær geta bundið þá í sér fyrir utan frumurnar, svo að þeir valda þeim ekki tjóni.

7. Frumverur

7.1 Inngangur

Til frumvera teljast fjölmargar heilkjarna lífverur. Þær eru ýmist frumbjarga eða ófrumbjarga og eru flestar þeirra einfrumungar, sem lifa óbundnir eða í sambúum. Þó eru nokkrir þörungar fjölfrumungar, sem mynda þræði eða þal, þar sem greina má frumstætt vefjaskipulag. Í sumum bókum eru þessar lífverur, eða að minnsta kosti nokkrar þeirra, taldar til vefplantna. Það er ekki gert hér, enda eru skilin á milli fjölfruma þörunga og vefplantna engan vegin glögg. Þá er og oft gripið til þess ráðs að skipta frumveruum í *einfruma* og *fjölfruma* frumverur, en slík flokkun er heldur ekki algild.

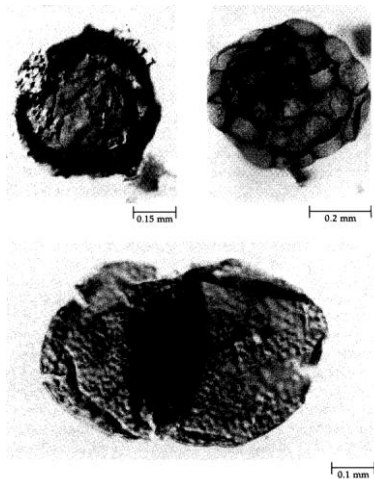
Helstu hópar frumvera eru þörungar og frumdýr, en að auki eru nú til þeirra taldar lífverur, sem áður heyrðu til sveppum. Ástæðan fyrir því, að þessir »sveppir« voru skildir frá öðrum eiginlegum sveppum, er sú, að á æviferli þeirra koma fyrir frumur með svipum eða bifhárum, en slíkt er óþekkt innan svepparíkis eins og það er skilgreint nú. Engu að síður fá þeir að halda »sveppa«-nafni sínu.

Elstu steingerðar leifar af heilkjörnungum eru um 1500 miljón ára gamlar. Þá þegar höfðu dreifkjörnungar lifað í meira en tvö þúsund miljón ár. Í fyrstu voru allar heilkjarna lífverur einfrumungar, en fyrstu steingerðu fjölfrumungarnir eru um 630 miljón ára gamlir. Ætla má þó, að lífverurnar séu miklu mun eldri en steingerðar leifar segja til um. Margbreytilegir fjölfrumungar þróuðust af fornum einfrumungum, ýmist sem sambú, þal eða lífverur með vefjaskipulagi.

Það hefur reynst örðugt að sýna fram á náinn skyldleika á milli einstakra fylkinga frumvera. Sameiginlegt einkenni er þó frumugerðin, þ.e. heilkjörnungar, en einkum þó vöntun á greinilegum einkennum sveppa, vefplantna og vefdýra.

Í ríki frumvera (Protista) eru oft taldar ellefu fylkingar lífvera. Fimm þeirra einkennast af ófrumbjarga lífsháttum, en í hinum sex fylkingum eru frumbjarga lífverur. Allar eru þær viðfangsefni þörungafraðinga.

Svif (plankton) er samsafn örsmárra lífvera í vatni, bæði ljóstillífandi einfrumunga og pínulítilla dýra, sem ráða ekki ferðum sínum sjálf, heldur berast fyrir veðrum og straumum. Jafnt í djúpum hafsins sem grunnum



Myndin sýnir elstu steingerðu leifar af heilkjörnungum.

Fylkingar frumvera

Eggsveppir
Kytrusveppir
Totu-slímsveppir
Slímsveppir
Gulþörungar
Eldþörungar
Dílþörungar
Rauðþörungar
Brúnþörungar
Grænþörungar



vötnum eru hinir reikulu þörungar og blágerlar, með öðrum orðum *plöntusvifið*, undirstaða alls annars lífs. Þeir framleiða fæðu handa öllum ófrumbjarga lífverum og eru þess vegna að sönnu frumframleiðendur lífræns efnis.

Dýrasvifið, hinar ófrumbjarga svifverur, er að miklum hluta myndað af örsmáum krabbadýrum, smásæjum lirfum ýmissa dýra, ófrumbjarga frumverum (frumdýrum) og gerlum. Bæði plöntu- og dýrasvif eru aðalfæða allmargra dýrategunda, jafnt smárra sem stórra.

Af fimm ófrumbjarga fylkingum, sem rætt verður um hér á eftir, eru þrjár – eggsvæppir (Oomycota), kytrusvæppir (Chytridiomycota) og frumdýr (Protozoa) – einkum bundnar vatni í einni eða annarri mynd. Þau lifa ýmist sníkju-, rot- eða átlífi. Hinar tvær fylkingarnar, totu-slímsvæppir (Acrasiomycota) og slímsvæppir (Myxomycota) eru fyrst og fremst landlífverur, sem melta gerla og leifar lífrænna efna.

Fjara er mjó ræma á milli tveggja ólíkra heima, vatns og lands. Þar takast náttúruöflin á af meiri krafti en á flestum stöðum öðrum. Eina stundina eru lífverur á kafi en sex klukkustundum og fimmtán mínútum seinna eru þær berskjaldaðar fyrir veðrum og vindum. Þess á milli leikur brimið við þær, á stundum af mikilli ólgu og frískleika en aðra stund seytla vatnið lognfara undan. Við þessar kröfuhörðu aðstæður búa margar lífverur, jafnt úr heimi dýra sem plantna, og hafa þær þróað með sér sérstakan búnað til þess að standast hið mikla álag, sem þær verða fyrir.

Það eru einkum þörungar, sem setja sterkan svip á sjávarfjörur, en þeir vaxa líka á hafi úti og í fersku vatni. Þeir, sem í fjörum vaxa, eru jafnan stærri og kröftugri en aðrir og aðstæður hafa mótað gerð þeirra. Við viss skilyrði raða hinar ýmsu tegundir þörungar sér í lárétt belti í fjörunni, en þar fyrir neðan taka oft við svo nefndir þaraskógar, þar sem hinar stórvöxnustu tegundir ráða ríkjum eins og nafnið bendir til. Þörungar ná oft niður á 25 til 30 metra dýpi og meira að segja niður á 70 metra dýpi, þar sem sjórinn er tær.

Þörungar, sem hér er fjallað um, eru flestir fjölfrumungar. Stærð þeirra er frá nokkrum brotum úr millímetra til 70 metra. Líkami þeirra skiptist ekki í stöngul, blað og rót heldur er líkami þeirra *þráður* eða *þal*. Sumar tegundir eru fastar við undirlagið með sérstökum festibúnaði, sem á ekkert skylt við rætur vefplantna. Oft sitja þessar tegundir á öðrum stærri en án þess þó að taka frá þeim næringu. Nefnast þær *ásætur*. Sníklar í hópi þörungar eru mjög fáséðir.

Tafla I

Undirfylkingar frumdýra.

Undirfylking slímssvipungar

Frumdýr, ýmist með svipur eða skinfætur sem hreyfifæri eða hvoruttveggja. Frumukjarnar af einni gerð og engin grómyndun. Ófrumbjarga og sum sníklar.

Undirfylking gródyr

Frumdýr, sem mynda einföld gró, sem verða að einum eða mörgum »sporozoidum«. Ein gerð af kjörnum. Svipur og bifhár aðeins á kynfrumum innan nokkurra hópa. Alltaf sníklar.

Undirfylking þráðgródyr

Frumdýr, sem mynda gró með pólhylkjum. Alltaf sníklar.

Undirfylking brádyr

Frumdýr, sem klædd eru bifhárum, að minnsta kosti einhvern hluta ævinnar. Oftast með tvenns konar frumukjarna, sumar tegundir þó bara með einn.

7.2 Frumdýr

7.2.1 Flokkun frumdýra

Frumdýr eru nær öll einfrumungar, að minnsta kosti sveipaðir einni frumuhimnu. Það heyrir til undantekninga (þráðgródyr), að þau séu á einhverju æviskeiði gerð úr nokkrum frumum. - Fljótt á litið virðast frumdýr einföld að gerð, en svo er öldungis ekki. Einfrumungarnir eru um margt mjög sérhæfðir bæði að gerð og hlutverki. Hin eina fruma verður að sinna öllum þeim störfum, sem lífstarfsemi krefst. Hún verður að velja sér fæðu, taka hana til sín, melta, skila úrgangi, hreyfa sig og geta æxlast. Þá verður fruman fyrir áreiti, sem hún verður að bregðast við og svara á sinn hátt, án þess þó að geta varðveitt eða fært sér í nyt fyrri tíðar upplýsingar um sams konar áreiti.

Hin vísindalega nafngift Protozoa (gríska, merkir hin fyrstu dýr) og íslenska nafnið frumdýr eru ekki alls-kostar rétt valin. Enda þótt fyrstu heilkjörnungarnir hafi verið einfrumungar er þeim ekki saman að jafna við nútíða frumdýr, sem hafa að minnsta kosti nokkur hundruð miljóna ára þróunarsögu að baki. Lífverur, sem velkst hafa í lífsins ólgusjó, í nær allar aldir jarðsögunnar, hljóta að hafa þróast allan þann tíma.

Flokkunarfræði frumdýra er á reiki. Stafar það meðal annars af því, að saga þeirra er ekki þekkt til hlítar. Reyndar eru til ævagamlar steingerðar leifar í jarðlögum, en það eru einungis skeljar eða stoðgrindur. Engir linir frumuhlutar hafa varðveist. Í töflu I er yfirlit yfir fjórar undirfylkingar frumdýra.

Í sumum fræðibókum er slímssvipungum skipt í tvo jafnstæða hópa, svipudýr og slímdýr (amöbur), og þráðgródyrin talin til gródyra. Þá er brádyrum á stundum skipað skör hærra en öðrum hópum, sem þá eru felldir í annan hliðstæðan hóp.

7.2.2 Slímssvipungar (*Sarcomastigophora*)

Þrír yfirflokkar teljast til undirfylkingar slímssvipunga. Hér verður nánar rætt um tvo þeirra, svipunga og slímdýr.

SVIPUNGAR. Sjá töflu II. Svipur einkenna svipunga og eru þær af sömu gerð og meðal annarra heilkjörnunga (9+2).

Tafla II

Flokkun slímsvipunga.

Yfirflokkur **Mastigophora**, svipungar

Stök dýr eða sambú, með eina eða fleiri svipur. Kynlaus æxlun við frumuskiptingu að endilöngu. Kynæxlun þekkt meðal fárra tegunda. Ófrumbjarga; þó koma upp öðru hverju frumbjarga stofnar.

Yfirflokkur **Opalina**, ópalínur

Svipur fjölmargar, stuttar og líkjast bifhárur. Tveir eða fleiri kjarnar, en aðeins af einni gerð. Aðallega sníklar í þörmum froska, skriðdýra og fiska.

Yfirflokkur **Sarcodina**, slímdýr

Hafa skinfætur og einstaka sinnum svipur. Frumur naktar, sumar huldar ytri skel eða innra stoðkerfi úr ýmsum efnum. Kynæxlun og kynlaus æxlun algeng. Flestar tegundir lifa óbundnar.



Trypanosoma tegund, sem veldur afrísku svefnveikinni. Hún er um 20 µm að lengd.

Við frumuskiptingu langsum eftir frumunni myndast nýjar svipur og grunnkorn, sem þær tengjast við, og fær önnur afkvæmisfruman þær. Ef frumuskiptingin er ekki alger, geta komið upp stór sambú, þar sem dýrin eru samvaxin á afturenda.

Að gerð og byggingu eru til hinar margbreytilegustu gerðir svipunga, frá einföldum til mjög flókinna gerða. Hinir einföldustu líkjast trúlega forfeðrum allra annarra frumdýra og jafnvel flestra vefdýra líka.

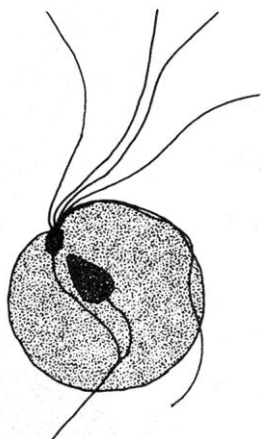
Mörk á milli plöntu- og dýrasvipunga eru ekki ætíð ljós. Fyrir getur komið, að plöntusvipungur missi laufgrænu við vissar aðstæður og taki að lifa sem hver annar dýrasvipungur. Venja er þó, að telja þá, sem hafa yfirleitt laufgrænu til einfruma þörunga en hina til dýrasvipunga.

Af dýrasvipungum eru *kornasvipungarnir* (ættbálkur Kinetoplastida) forvitnilegastir. Þeir hafa tvær svipur og liggur önnur aftur með dýrinu og er umlukt frumuhimnunni. Margir kornasvipungar lifa óbundnir en hinir eru ófáir, sem eru sníklar og valda alvarlegum sjúkdómum í mönnum, húsdýrum og nytjaplöntum.

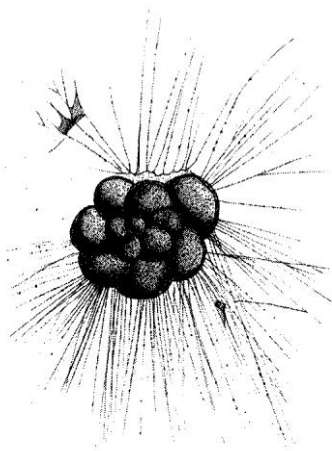
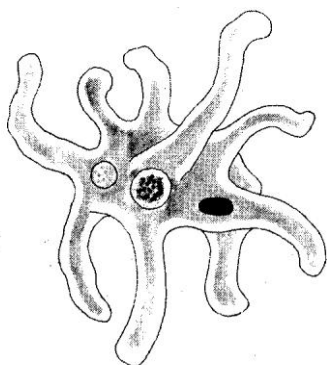
Afríska svefnveikin er sá sjúkdómur af völdum kornasvipunga, sem menn óttast mest. Henni valda tvær *Trypanosoma*-tegundir, doðatrefja (*T. gambiense*) og rökkurtrefja (*T. rhodesiense*). Báðar eru þær lífshættulegar, en hin seinni þó sýnu verri. Það eru ýmsar tegundir af tsetse-flugum (ættkvísl *Glossina*), sem sýkja menn. Þegar fluga sýgur blóð úr sýktum manni, safnast sníkjudýrin saman aftarlega í görn flugunnar. Þaðan flytja þau sig fram eftir í flugunni, taka út ákveðinn þroska og setjast að í munnvatnskirtlum. Næst þegar tsetse-flugan sýgur blóð, dælir hún munnvatni inn í sárið, því að í því er efni, sem kemur í veg fyrir storknun blóðs. Á þann hátt komast sníkjudýrin inn í blóðrás manns. Sníklarnir sýkja fyrst vessaðakerfið og valda bólgum í eitlum og háum hita. Síðar valda þeir skaða í miðtaugakerfi og sjúklingar leggjast í þunglyndi og mikill svefnhöfgi sækir á þá. Í fyrstu eru dúrarnir stuttir en lengjast sífellt og verða dýpri og dýpri. Að lokum falla menn í þungan svefn og vakna ekki aftur.

Afríski hesta- og nautpenings-sjúkdómurinn *nagana* minnir um margt á svefnsýki. Þar eru að verki tsetse-fluga og naganatrefja, *Trypanosoma brucei*. Sjúkdómurinn herjar aðeins á innflutt húsdýr en ekki á villt spendýr í Afríku. Enn önnur tegund, *T. equiperdum*, veldur skaðum kynsjúkdómi meðal hesta og asna.

Af öðrum ættbálkum svipunga má nefna *Trichomonadida*, en þeir eru með 3 til 20 svipur. Nokkrar tegundir ættkvíslarinnar *Trichomonas* lifa í meltingarvegi og þvagrásam hryggdýra. *T. vaginalis* lifir í leggöngum



Trichomonas vaginalis, slíðurpræða, lifir í leggöngum kenna og þvagrás karla.



Efri mynd sýnir amöbu en hin neðri götung.

kvenna og þvagrás karla og getur valdið sýkingu. *T. foetus* veldur smitandi fósturláti í nautpeningi. Til ættbálksins fjölsvipunga (*Hypermastigida*), heyrast svipungar, sem lifa í þörmum termíta. Þeir framleiða ensým, sem brýtur niður beðmi (sellulósa), sem termítarnir lifa á.

SLÍMDÝR. Hreyfi- og fæðuöflunarferi slímdýra eru skinfætur (skin- merkir óekta). Slímdýr eru öll ófrumbjarga og eru litlaus. Einstaka sinnum virðast þau græn, brún eða rauð og stafar liturinn af örsmáum svipungum, sem lifa í umfrymi þeirra. Slímdýr ganga undir ýmsum nöfnum eins og amöbur, ömbur, teygjudýr (teygjur), slímfætlur og geislafætlur. Þó að reynt sé að halda ákveðnum nöfnum innan vissra flokka, ríkir hér talsverður ruglingur.

Oft er vandkvæðum bundið að draga skil á milli svipunga og slímdýra. Sumar tegundir hafa bæði svipur og skinfætur. Þá hafa sum slímdýr svipur á vissu æviskeiði. Talið er líklegt, að slímdýr séu komin af svipungum.

Í ljóssmásjá má greina tvær gerðir af umfrymi. Ytri hlutinn, *útfrymið*, er tær og hlaupkenndur, en hinn innri, *innfrymið*, er þunnfljótandi með ýmsum frumuhlutum. Kjarninn er í innfryminu og á vissu æviskeiði sumra tegunda geta þeir verið margir. Allmargar tegundir hafa um sig skel og stoðgrindakerfi.

Megineinkenni slímdýra er skinfætur, en það eru frymisútskot, sem dýrið getur sent í allar áttir. Þeir eru einkum til þess að fanga fæðu, en sumar nota þá líka til þess að ferðast með. Þá skjóta dýrin anga í ákveðna átt og fljótandi innfrymið streymir þangað. Slímdýrin vella því eða flæða áfram. Unnt er að greina á milli nokkurra gerða af skinfótum.

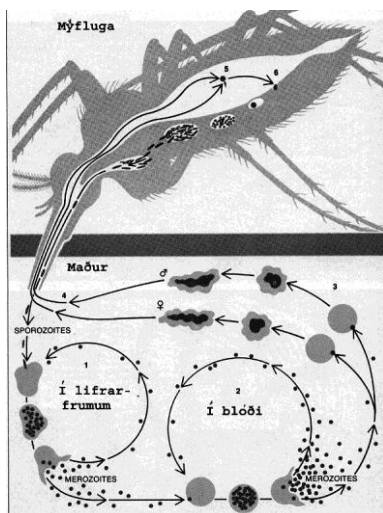
Flest lifa slímdýrin á gerlum, svipungum og öðrum örverum. Slímdýrin umkringja örverurnar og loka inni í fæðubólu, þar sem þær drepast. Nokkrar tegundir lifa á dauðu, lífrænu efni, og sum sníkjuslímdýr éta frumur úr lifandi vefjum hýsla. Kallast það agnát.

Slímdýrin geta tekið fæðuna inn svo að segja hvar sem er. Fæðubólur myndast umhverfis ætið og meltiensým streyma þangað. Eftir því sem líður á meltinguna skiptir fæðubólan sér í margar smáar bólar, sem dreifast um umfrymið. Bólar með ómeltanlegum efnum og ýmsum örðum opnast út í umhverfið. Í ferskvatnstegundum má oft sjá bólar, sem dragast sundur og saman, svo nefndar herpibólar, sem dæla umframvatni af og til út úr frumunni.

Kynlaus æxlun er mjög algeng meðal slímdýra. Hún er af ýmsum toga. Venjuleg frumuskipting er tíð, svo

	og knappskot og einnig rekur á stundum hver kjarnaskiptinginn aðra og umfrymið skiptist í marga hluta (margskipting). Kynæxlun er algeng innan vissra hópa slímdýra. Kynfrumur synda óbundnar búna svipum. Flest slímdýr lifa í sjó eða vötnum, en þó eru nokkrar, sem lifa á landi, í votlendi eða á öðrum rökum stöðum. Sum slímdýr eru sníklar. Margar tegundir slímdýra geta myndað þolhjúp og lifað þannig af í óblíðu umhverfi. Annar aðalflokkur slímdýra eru slímfætlur (Rhizopodea). Hinar stærstu þeirra geta verið sýnilegar berum augum (<i>Pelomyxa</i> sp.). Til þeirra telst einnig dreyrategja (<i>Entamoeba histolytica</i>), sem veldur blóðkreppusótt, sem lýsir sér sem mikill hiti, verkir í kvið og blóðlitaður niðurgangur. Dreyrategjan sest aðallega á innanverða þarmaveggi og veldur þar sárum. Sóttin er algengust í hitabeltinu, en sumt fólk myndar ónæmi gegn henni en er engu að síður smitberar. Til slímfætla teljast einnig götungar (Foraminifera), mjög stór hópur, sem lifir nær eingöngu í sjó. Þeir eru þekktir frá fornlífsöld til nútíma, og hefur verið lýst hvorki meira né minna en um 25'000 tegundum, bæði steingerðum og lifandi. Götungarnir eru víða leiðar- eða einkennis-steingervingar í jarðlögum (krítarlög) og rannsakaðir við olíuleit. Þeir veita mikilsverðar upplýsingar um loftslagsbreytingar á fyrri öldum og eru mælikvarði á áhrif mannsins á vistkerfi sjávar. Skipta má götungum í tvo hópa, annars vegar þá, sem lifa í eða á botni og hins vegar svifverur. Götungar hafa um sig skel með götum á. Skeljarnar eru ýmist saman límdar úr lausum efnum af hafsbotti (steindum, skeljabrotum o.fl.) eða úr kalki (kalsíti eða aragóníti), sem er algengara. Lögun skeljanna er með ýmsum hætti. Sumar eru aðeins ein kúla með opi á, munna, en aðrar bæta á sig klefum eftir því sem þær vaxa. Op eru á milli klefanna (lat. foramen, gat; ferre, bera). Sumar skeljanna eru aðeins úr einu þunnu lagi, en aðrar bæta nýju vaxtarlagi á alla skelina í hvert skipti, sem nýr klefi myndast. Hinn aðalflokkur slímdýra eru geislafætlur (Actinopodea). Flestar þeirra eru svifverur. Margar hafa miðhjúp, sem skilur á milli inn- og útfrymis, og er hann hluti stoðgrindar. Til þeirra teljast geislungar (Radiolaria), glitkringlur (Acantharia) og sóldýr (Heliozoa). Kísilskeljar geislunganna eru ærið flóknar að gerð. Þær safnast oft í svo miklum mæli á hafsbotti, að til verða þykk jarðlög. Glitkringlur hafa völdugt stoðgrindakerfi, langar gildar nálar, sem eru tengdar saman með hliðarnálum. Sóldýr lifa nær eingöngu í fersku vatni. Út frá kúlulaga dýrinu ganga geislar í allar áttir, og er nafnið
--	---

Tafla III Flokkun gróðýra. Flokkur Telospora Grómyndun, bæði kynlaus æxlun og kynæxlun. Séu þau með skinfætur, nota þau þá aðeins til þess að afla fanga en ekki til hreyfingar. Sumar kynfrumur með svipur. Ávallt sníklar. Flokkur Toxoplasmea Engin grómyndun, fjölgun við ýmsar gerðir frumusiptingar. Hvorki svipur né skinfætur þekkt. Ættkvíslin <i>Toxoplasma</i> sníkir í blóðfrumum, einkum hvítörnum og í miðtaugakerfi hryggdýra, m.a. manna. Flokkur Haplospora Þekkt er grómyndun og kynlaus æxlun. Svipur engar, skinfætur á stöku tegund.	af því dregið. Geislana notar dýrið til þess að fanga aðrar verur. 7.2.3 Gróðýr (Sporozoa) Gróðýrin eru öll sníklar, sem taka inn fæðu gegnum frumuhimnu. Þau sníkja inni í líkamsholi vefdýra og í frumum dýra, meira að segja í öðrum gróðýrum. Ættliðaskipti gróðýra eru bæði margvísleg og flókin. Í stuttu máli má lýsa þeim á eftirfarandi veg. Tvær ólíkar kynfrumur renna saman og utan um okfrumuna ($2n$) myndast þykkt hylki (ekker hylki myndast þó um okfrumur, sem lifa í blóði). Okfruman kallast <i>gró</i>, og er heiti frumdýranna af því dregið. Okfrumu-kjarninn skiptir sér meiósu. Að loknum frekari kjarnaskiptingum (mítósu) verða til litlar, einlitna grófrumur (sporozoit-frumur). Þær taka að vaxa, skipta sér mítósu og verða að kynlausum frumum. Þessar kynlausu frumur geta skipt sér hvað eftir annað, svo kallaðri margskiptingu, og sífellt myndað fleiri og fleiri kynlausar frumur. Fyrr en seinna verða þær þó að kynjuðum frumum og við frekari þroskun að fullþroska kynfrumum. Kynfrumur gróðýra eru oft hver með sínu móti. Meðal sumra eru þær misstórar, stórkynfrumur (kvenkyns) og smákynfrumur (karlkyns), og eru hinar síðar nefndu með svipum. Meðal annarra gróðýra eru kynfrumur jafnstórar, og er annað kynið með svipum en hitt ekki. Ein kynjuð fruma þroskast í stórkynfrumu, en áður en kynjuð fruma verður að smákynfrumu skiptir hún sér mítósu nokkrum sinnum, svo að margar smákynfrumur myndast úr einni. Flestöll gróðýr sníkja aðeins á einni tiltekinni tegund. Þau eru algeng sem sníklar í fjöldamörgum lífverum, einkum vefdýrum, bæði hryggdýrum og hryggleysingjum. Sum lifa inni á milli frumna, önnur í frumum dýra og til eru nokkur sem sníkja á einu skeiði ævinnar á öðrum staðnum og flytjast svo síðar á hinn. Sum gróðýr lifa alla ævi í einni tegund en önnur flakka á milli tegunda. Svo virðist vera, að fæst gróðýr skaði hýsil sinn. Þó eru til nokkrir sýklar. Heilsutjóni valda þeir með því að eyðileggja vefi, svo að sýking kemst í sárið. Gróðýrin valda mestum usla meðal húsdýra og manna. Viltir dýrastofnar verða sjaldan fyrir barðinu á gróðýrum. Meðal þeirra gróðýra, sem valda sjúkdómum í mönnum eru malaríusýklar af ættkvíslinni <i>Plasmodium</i>, sem nefnast flysjur. Malaría hefur líka verið kölluð köldusótt eða mýrakalda. Fáir sjúkdómar heimta stærri toll af mönnum. Í lok sjötta áratugar var talið, að á ári
---	---



Æviferill malaríusýkils.

hverju fengi einn maður af hverjum tíu malaríukast. Um það bil þrjár miljónir manna látast árlega af völdum sjúkdómsins og er álitíð, að afköst fólks séu um 5% minni í malaríu-löndum en annars staðar.

Til *Plasmodium*-ættkvíslar teljast margar tegundir, sem lifa allar við svipaðar aðstæður og berast með mýflugum, sem sjúga blóð. Flysjurnar fjölga sér með kynæxlun í mýflugunum, sem teljast því vera aðalhlýsill gróðýrsins. Hins vegar eru hryggdýrin (skriðdýr, fuglar og sum spendýr), sem dýrin sníkja í, kölluð millihýslar.

Æviferill malaríusýkils er í meginatriðum eins og lýst var hér að framan. Grófrumurnar lifa í munnvatni mýflugunnar og komast inn í blóðrás fórnarlamb, þegar flugan spýtir blóðstorkuhefti inn í sárið. Grófrumurnar setjast að í lifrinni, þar skipta þær sér og þroskast í kynlausar frumur. Þessar kynlausu frumur smjúga inn í rauðkorn, vaxa þar og skipta sér, svo að rauðkornið springur. Frumurnar, sem til verða skríða inn í ný rauðkorn, vaxa þar og skipta sér, svo að rauðkornið springur. Þannig getur sama sagan endurtekið sig æ ofan í æ, og það sem meira er, þetta gerist með nokkuð reglulegu millibili eftir því hver sýkillinn er. Í mönnum sníkja fjórar tegundir og líða yfirleitt ýmist 48 eða 72 tímar á milli kasta.

Í fullvöxnum meðalmanni eru um það bil $30 \cdot 10^{12}$ rauðkorn. Þegar menn sýkjast af hættulegustu malaríunni, hálmflysju (*P. falciparum*), eru 10-20% rauðkorna sýkt, það er að segja um $6 \cdot 10^{12}$ malaríusýklar hafa búið um sig í líkamanum. Í öðrum tilvikum er talan heldur lægri. Greinileg einkenni malaríu byrja jafnan, þegar um 10^9 rauðkorn eru sýkt.

Eftir fáein malaríuköst byrja kynlausu frumurnar að þroskast ýmist í stórar eða litlar kynfrumur. Til þess að þær geti orðið að fullþroska kynfrumum þurfa þær að komast í mýflugugu, sem sýgur blóð úr sýktri manneskju. Í görn mýflugunnar þroskast hinar stóru í kvenlegar stórkynfrumur, en hinar litlu skipta sér nokkrum sinnum áður en þær verða að mörgum karllegum smákynfrumum. Frjóvgunin verður síðan í görninni og okfruman (ookinet) þrengir sér inn í þekjufrumur garnarinnar og verður að stórri blöðru (oocysta). Þar byrjar fruman að skipta sér margsinnis, svo að blaðran springur og tæmist út í líkamsholið og nýmyndaðar grófrumurnar flytjast fram í munnvatnaskirtla. Þar með er hringnum lokað.

Það eru fjórar flysjutegundir, sem leggjast á menn. Kregðuflysja (*P. vivax*), útbreidd í tempraða beltinu, og var áður algeng víða í Evrópu. Er tiltölulega meinlaus, köldusóttarköstin koma á 48 tíma fresti. Lumpuflysja (*P. ovale*) er sums staðar í heitum löndum; köstin koma á 48 tíma fresti. Kölduflysja (*P. malariae*) er víða í

Tafla IV

Flokkun bráðýra.

Undirflokkur **Holotrichia**

Jafnhárungar; hafa bifhár um alla frumu. Mjög fjölskrúðugur hópur, bæði í söltu sem fersku vatni. Ættkvíslin *Paramecium*, ildýr, er stór hópur algengra frumdýra í ferskvatni. Ættkvíslin *Tetrahymena*, þófadýr, er mikið notuð í tilraunir.

Undirflokkur **Peritrichia**

Sveighárungar (kranshárungar); fullvaxin dýr nær ætíð hárlaus, nema hringinn í kringum munnann er sveigur bifhára, sem liggur rangsælis að munna. Mörg dýr fastvaxin; bæði í söltu sem ósöltu vatni. Ættkvíslin *Vorticella*, bjölludýr (klukkudýr), myndar oft stór sambú.

Undirflokkur **Suctoría**

Sogdýr; fullvaxin eru bifháralaus, fastvaxin. Fjölga sér með knappskoti. Minna dýrið, afkvæmið, er með bifhár og syndir á braut. Stuttu síðar missir það bifhárin og sest til botns á litlum stílki. Margir sogarmar ganga út úr dýrinu, en það notar þá til þess að drepa sér til matar önnur frumdýr eða hjöldýr (lítil vefdýr) og sýgur í sig næringu úr bráðinni.

Undirflokkur **Spirotrichia**

Hringhárungar (gormhárungar); bifhár jafnan fá, mynda oft kamba, nema í kringum munnann. Þar liggur þéttur hringur bifhára réttisælis að munna. Ættkvíslin *Stentor*, lúðurdýr, eru stór, lit bráðýr, algeng í fersku vatni. Stórkjarni er líkur perlufesti. Ættkvíslin *Spirostomum*, skryfur, eru ormlaga bráðýr í sjó og vötnum. vömbum jóturdýra lifa ættkvíslirnar *Entodinium* og *Ophryoscolex*.

hitabeltislöndum og brýst út á 72 tíma fresti. Hálmflysja (*P. falciparum*) í hitabeltislöndum er ótvírætt hættulegasta malarían. Köstin koma fyrst á 48 tíma fresti en ekki líður á löngu uns þau koma óreglulega og næstum daglega.

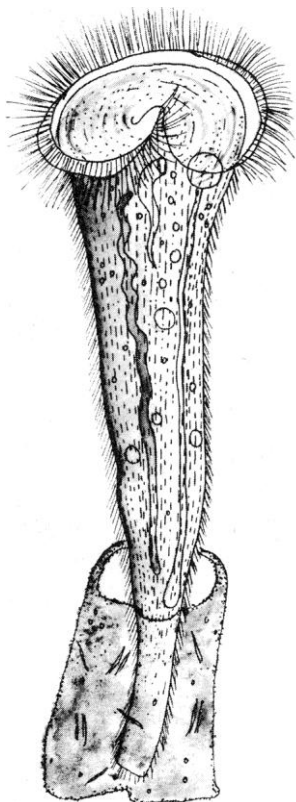
Malaríuköstin brjótast út, þegar rauðkornin springa. Þau lýsa sér fyrst sem mikill kuldi, síðan hækkar líkamshitinn ört og sækir þá mikill þorsti á sjúkling og að lokum slær út miklum svita. Köstunum geta einnig fylgt ýmis önnur einkenni, meðal annars í heila og hjarta, því að sýkt rauðkorn geta stíflað fínustu háræðar. Sé fólk að auki vannært eða illa á sig komið líkamlega verða einkennin miklu sárari.

Maðurinn getur myndað svo að segja fullkomið ónæmi gegn malaríu. Í þeim héruðum, þar sem sjúkdómurinn hefur herjað ákafast, er slíkt nokkuð algengt. Það eru átfrumur úr hópi hvítkorna, sem eru virkastar við að eyða grófrumum og sýktum rauðkornum. Af þessum sökum eru sjúklingar oft blóðlitlir, það er að segja, magn blóðrauða (hemóglóbíns) í þeim er í lágmarki. Mikið álag verður á lifur og milta, sem eyða löskuðum rauðkornum, og er stækkun hins síðar nefnda líffæris einkenni malaríusjúklinga.

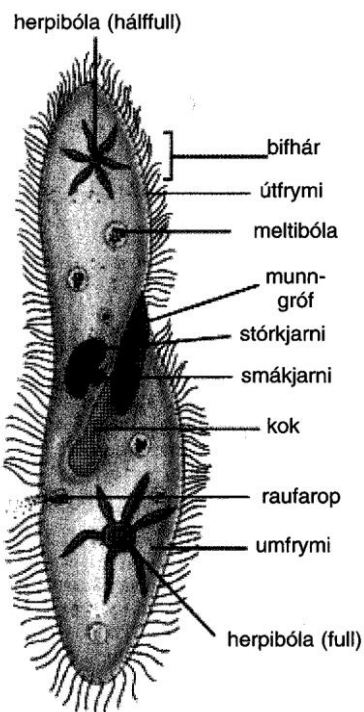
Mýflugan, sem sýkir menn, er köldumý af ættkvíslinni *Anopheles*. Af fjölmörgum tegundum ættkvíslarinnar eru einungis örfáar, sem geta sýkt menn af malaríu. Hættulegasti smitberinn er vesturafríska tegundin *A. gambiae*. Í baráttu við malaríu hefur ýmsum meðölum verið beitt. Fyrsta lyfið við malaríu var kínín, unnið úr berki kínatrésins (*Cinchona ledgeriana*), sem vex í Andesfjöllum í Suður-Ameríku. Það voru jesúítaprestar í Perú, sem lærðu að nota lyfið af perúskum frumbyggjum um 1630. Svo mikil ásókn var í börk, að trénu var nærri útrýmt. Á árum áður voru votlendi, þar sem flugan þrífst, ræst fram, olíu var úðað yfir vötn til þess að kæfa lifur og fiskum, sem átu lifur flugunnar, var dreift víða. Meðal annars voru gúppý-fiskar (*Lebistes reticulatus*) notaðir. Þeir eru frá Gíneu og Norður-Brasilíu. Síðar voru framleidd sérstök eitrefni til þess að ráða niðurlögum flugunnar, en hún myndaði þá nýja stofna, sem þoldu þau. Tekist hefur að útrýma mýflugunni á stórum svæðum, en ávallt er hætta á, að hún komi upp á ný. Í seinni tíð hefur tekist að framleiða ný og betri lyf en áður við veikinni.

7.2.4 Þráðgróðýr (*Cnidospora*)

Þráðgróðýr eru öll sníklar. Þau voru áður talin til gróðýra. Þráðgróðýrin skiptast í allmarga flokka, sem ekki verða ræddir hér. Þekktar eru um 1100 tegundir. Sumar tegundir



Lúðurdýr.



Ildýr.

valda miklu tjóni. Nefna má laxafluðru, *Myxosoma cerebri*, sem leggst á miðtaugakerfi í laxfiskum. Silkisnyrill, *Nosema bombycis*, er sníkill, sem leggst á silkifiðrildi (*Bombyx mori*) og lifur þess. Silkiiðnaður hefur orðið fyrir umtalsverðu tjóni af hans völdum.

7.2.5 Brádýr (Ciliophora)

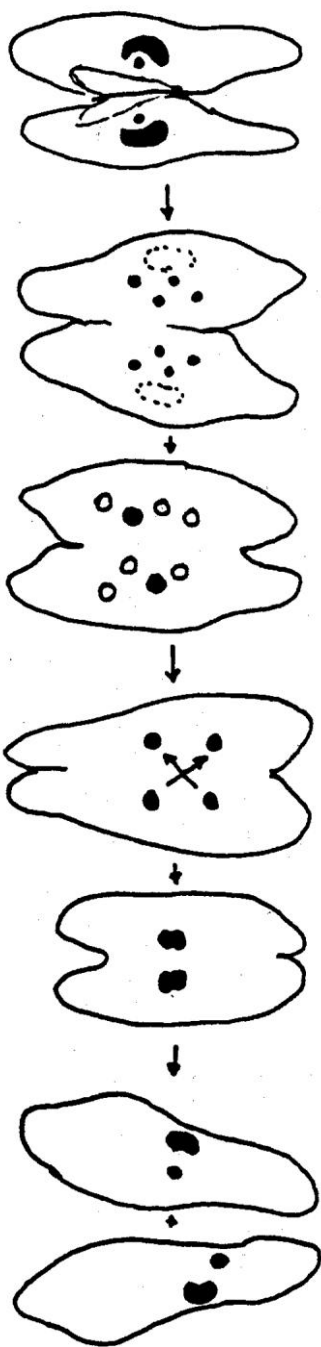
Brádýr eða bifhærð frumdýr eins og þau eru á stundum nefnd, hafa tvo kjarna, stórkjarna og smákjarna. Annað einkenni þeirra eru bifhárin, sem oft eru fjölmörg og eru hreyfingar þeirra samhæfðar. Reyndar hafa sum brádýr bifhár aðeins á vissu æviskeiði. Kynlaus æxlun verður ávallt við þversum-skiptingu og kynæxlun er svo kölluð skiptifrjóvgun (okun). Smæstu brádýr eru um 10 til 12 μm á lengd eða litlu stærri en rauðkorn í mönnum, en hin stærstu eru hins vegar um 3 mm á lengd (t.d. *Spirostomum ambiguum*, sem er ormlaga).

Innan undirfylkingarinnar er aðeins einn flokkur, brádýr, sem skiptist í fjóra undirflokka: Jafnhárunga, sveighárunga (kringhárunga), sogdýr og hringhárunga (gormhárunga). Sjá töflu IV. Þekktar eru um 7000 tegundir.

Flest eru brádýrin litlaus en sum þó fagurlega lit. Roðadólpur, *Mesodinium rubrum*, hefur í útfrymi rauða litbera, svo að sjórinn litast rauður, ef þeir eru í miklum mæli (ekki rugla saman við skorupörunga, sem oftast lita sjó). Engin brádýr skarta þó fleiri litum en lúðurdýrin, *Stentor* spp., sem eru til í öllum regnbogans litum. Nokkur brádýr, eins og ildýr (*Paramecium*) og hlaupadýr (*Euplotes*), taka lit af þörungum og gerlum, sem lifa inni í þeim.

Lögun brádýra er með ýmsu móti. Þau, sem talin eru þróaðri en önnur, nálgast að vera tvíhliða, með greinilegan framhluta og afturhluta, kvið og bak. Hin eru þó sýnu fleiri, sem eru geislótt eða nærri því. Mörg þeirra eru mestan hluta ævinnar fastvaxin og sitja á streng eða stilk (t.d. bjölludýr, *Vorticella*). Stöku sinnum yfirgefa þau stilkinn, bifhárakrans vex aftast á dýrið og það ferðast um. Þá eru nokkur dýr, sem búa í hylki, sem þau yfirgefa sjaldan eða aldrei, og eru sum hylkin með loki á.

Flest brádýr lifa ein og óbundin en sum mynda stór sambú. Flestar frumur eru naktar og skiptast greinilega í inn- og útfrymi. Útfrymið er oft nefnt »börkur« og er eins konar »húð« um frumuna. Nokkrar tegundir hafa um sig þunnar kalkplötur (t.d. *Coleps* spp.) og aðrar eru í nokkurs konar brynju eins og nafnið fingurbjargardýr á slíkum ættbálki (*Tintinnida*) gefur til kynna.



Skiptifrjóvgun í *Paramecium caudatum*.

Út úr ysta lagi brádýrs standa bifhárin. Niðurröðun þeirra eða munstur er einkennandi fyrir vissa hópa. Ildýr (*Paramecium*) og þófadýr (*Tetrahymena*) eru til að mynda fulltrúar tveggja ættkvísla, sem eru með bifhár um allan líkamann, svo kallaðir jafnhárungar. Það er talið upprunalegt meðal brádýra. Þá eru önnur, sem eru bifhærð á vissum stöðum, aðallega í kringum munnann. Fyrir kemur að bifhárin séu föst saman og myndi svo nefnda skúfa (cirri; til dæmis kambdýr, *Stylonychia* sp. og hlaupadýr, *Euplotes* sp.).

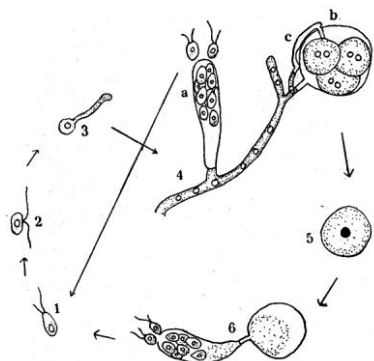
Dýrin nota bifhárin til þess að hreyfa sig, afla sér fæðu og koma frá sér úrgangi. Bifhárin eru sömu gerðar og svipur (9+2). Neðsti hluti þeirra allra er samtengdur með kerfi frymistrefja, sem sjá um að samhæfa hreyfingar þeirra. Víst þykir, að brádýrin geti skynjað umhverfi sitt á einhvern hátt með hjálp bifhára.

Flest brádýr hafa munna (cystostom), sérhæft op til þess að taka inn fæðu. Á sumum dýrum er munninn ávallt opinn en á öðrum opnast hann, þegar þau gleypa eitthvað matarkyns. Inn af munninum gengur nokkurs konar vélindi, sem fæðan fer um. Fæðubólur fara venjulegast ákveðna leið innan frumunnar og ómeltum fæðuleifum er skilað út um ákveðið op, nokkurs konar endagarnarop (cytopyg).

Eins og áður segir eru kjarnarnir yfirleitt af tveimur gerðum. Einstakar tegundir hafa þó aðeins einn kjarna (til dæmis ættkvíslin *Stephaneopoppon*, sem lifir á grunnsævi). Smákjarni í brádýrum gegnir hlutverki við kynæxlun. Í honum leynist erfðaefnið. Stórkjarni hins vegar stjórnar innri efnaskiptum frumunnar en reyndar geymir hann líka erfðaefni. Hann er tvílitna ($2n$) eða þó jafnan fjöllitna, meira að segja allt að $1000n$, þó að það sé fremur undantekning en regla. Í flestum tilvikum er stórkjarninn einn, en smákjarnar geta verið tveir eða fleiri.

Hin sérlega skiptifrjóvgun verður aðeins á milli ólíkra einstaklinga, það er ekki með sömu erfðaheimildir. Hún getur aldrei orðið á milli þeirra, sem orðið hafa til við kynlausa æxlun eins brádýrs, sem skipt hefur sér þrífaldlega. Þeir hafa nefnilega nákvæmlega sömu erfðaheimildir eða arfgerð (klón).

Við skiptifrjóvgun leggjast tvö brádýr hlið við hlið og frumuhimnur þeirra leysast upp, þar sem þau snertast. Smákjarnar beggja einstaklinga skipta sér nokkrum sinnum, svo að átta kjarnar myndast, fjórir í hvoru dýri. Ein skiptinganna er meiósa og verða þá til fjórar einlitna kjarnar. Þrír kjarnar af fjórum eyðast, en hinn fjórði skiptir sér enn á ný, svo að tveir verða í hvorri frumu. Nú leggja tveir kjarnar af stað, hvor úr sinni frumu, og mjakast yfir í nágrannadýrið. Þar renna þeir saman við



Þroskaferill eggvepps. 1-2: frum- og síð-bifgró; 3: bifgró spírar; 4: þráður eggvepps með bifgróhirslu (a), egghirslu (b) og frjóhirslu (c), sem myndar brú yfir í egghirslu; 5: egggró; 6: egggró spírar og verður að bifgróhirslu.

þann kjarna, sem fyrir er, svo að tvílitna kjarnar verða til. Á meðan á þessu stóð hefur gamli stórkjarninn leystst upp og runnið saman við umfrymið. Að samruna kjarnanna loknum skiljast dýrin að, tvílitna kjarninn skiptir sér mítósu og annar hinna nýmynduðu kjarna verður að stórkjarna.

Við kynlausa æxlun skiptir smákjarninn sér mítósu eins og í hverri annarri frumu. Í stórkjarna tvöfaldast magn DKS og skiptist kjarninn til helminga síðar, þá er fruman skiptir sér (nefnt »endomítósis« eða innræn mítósa).

Brádýr eru mjög algeng, bæði í fersku vatni og sjó. Fjöldi þeirra eykst oft við mengun af völdum lífrænna efna. Fæða þeirra er einkum aðrar örverur. Sumar tegundir eru sníklar og aðrar lifa í vömb grasætna. Í ristli mannsins lifir til að mynda garnagaufi (*Balantidium coli*), en jafnan er hann meinlaus en getur þó valdið blóðsótt.

7.3 Eggveppir

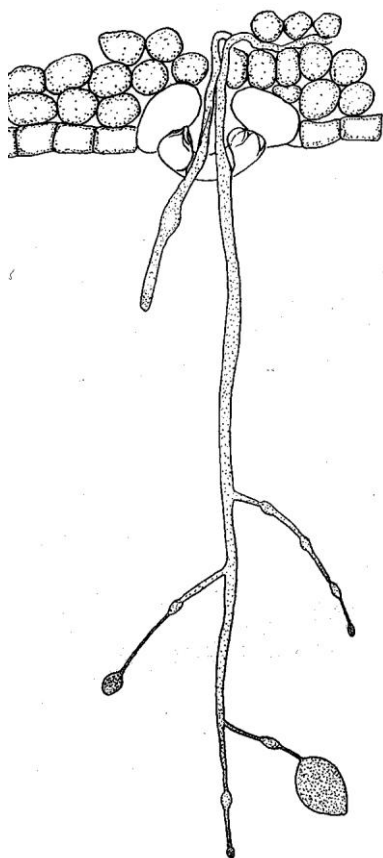
Til eggveppa heyra um 475 tegundir, sem ýmist eru einfrumungar eða mjög greinóttir þræðir, þar sem milliveggir á milli frumna eru horfnir (samfrumungar). Fylkingin er vel afmörkuð frá öðrum. Frumuveggir eru úr beðmi eða beðmislíkum fjölliðum. Litningar í eggveppum og frumuskiptingar eru með líkum hætti og í öðrum heilkjörnungum.

Flestar tegundir eggveppa geta fjölgað sér bæði kynlaust og með kynæxlun.

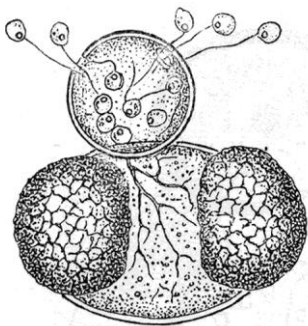
Við kynlausa æxlun verða til bifgró í eggлага bifgró-hirslum, sem sitja á endum sveppþráða. Í hirslunum verða til perulaga bifgró með tveimur svipum á öðrum enda. Þessi frum-bifgró verða síðan að litlum belgjum en úr þeim koma síðar síð-bifgró, sem eru nýrlaga með tveimur nýjum svipum á íhvolfu hliðinni. Síð-bifgróin geta enn á ný orðið að litlum blöðrum, sem síðar geta orðið að nýjum einstaklingum eða mynda enn aftur síð-bifgró.

Kynæxlunin er eggfrjóvgun og felur í sér, að egghirslur með mörgum kvenlegum kjörnum myndast og mjóslegnar frjóhirslur með mörgum karllegum kjörnum. Egghirslurnar eru kúlulaga og sitja á greinaendum eins og bifgróhirslur. Við þroskunina eyðast margir kjarnanna eða setjast að og mynda rönd yst í fryminu (periplasma) en aðrar mynda eggfrumur (oosphær). Frjóhirslurnar eru oftast mjóslegnar. Meðal sumra tegunda eru egg- og frjóhirslur á sama einstaklingi, þ.e. eru tvíkynta en hjá öðrum einkynja og þá myndast frjóhirsli á einu þali en egghirsli á öðru. Í sinn hvorri hirslunni myndast vaxtarhormón (antheridiol og oogoniol), sem örva gagnkvæman vöxt, svo að frjóhirslurnar taka að vaxa í átt til egghirslna. Þar sem hirslur mætast myndast brú á milli þeirra og karllegir kjarnar rata inn til eggfrumna. Ef hvoru tveggja kynfæra eru á sama einstaklingi, er aldrei um sjálffrjóvgun að ræða.

Frjóvgunin leiðir til myndunar á þykkveggja okfrumu, egggrói, sem er dvalagró. Talið er, að meiósa verði um svipað leyti og gróíð spírar en þá verður til ný einlitna lífvera eða aðeins ný bifgróhirsli.



Phytophthora infestans, sníð gegnum neðra borð laufblaðs á kartöflugrasi. Tvær gróhirsur, önnur þroskuð, hin óþroskuð, skaga út um loftaugað.



Kytrusveppur, *Rhizophydium pollinis-pini*, lifir sem sníkilla á frjókorni af furu.

Stór hluti egg sveppa lifir í fersku vatni. Meðal tegunda af ættkvíslinni *Saprolegnia* eru þekktir sníkjusveppir á fiskum og hrognum (t.d. *S. parasitica*). Tegundir innan *Achlya* ættkvíslar lifa í jarðvegi og gefa frá sér efni, sem brjóta niður beðmi.

Til egg sveppa teljast líka allmargir myglusveppir, sem eru sérhæfðir til þess að lifa á landplöntum og valda mörgum illfengnum sjúkdómum. Bifgróhirsur líta út sem uppblásnir sveppaendar og falla oft af áður en bifgró ná að þroskast. Á mörgum tegundum er eiginleg bifgróarmyndun horfin en í þess stað vex hirsan, sem þá kallast kóníða, og myndar þræði, sem líkjast sveppum. Meðal annarra hópa (*Peronosporales*) er það vatn, sem ræður því hvort í bifgróarhirsunni myndist bifgró en í þurrki verður hún að kóníðum.

Þekktur egg sveppur er kartöflumygla (*Phytophthora infestans*), sem hefur valdið miklu tjóni meðal annars hér á landi. Kartöflumygla olli miklu hallæri á Írlandi 1846–1847. Á einni viku gjöreyðilagðist öll uppskera með þeim afleiðingum, að á árunum frá 1846 til 1851 fækkaði Írum úr 8,5 miljónum íbúa í 6,5 miljónir. Um 800'000 Írar dóu úr hungri en aðrir fluttu úr landi, einkum til Bandaríkjanna. Faraldurinn hafði mikil áhrif á líf landbúnaðarverkamanna, en hver fullorðinn neytti að meðaltali um fimm kílógramma af kartöflum á dag.

Önnur skyld tegund (*Peronospora tabacina*) barst fyrst til Evrópu frá Ameríku eða Ástralíu 1959 og leiddi til þess, að 1960 drapst drjúgur hluti allra tóbaksplantna í Þýskalandi.

7.4 Kytrusveppir

Til kytrusveppa (*Chytridiomycota*) teljast um 750 tegundir, sem eru um margt æði ólíkar að gerð og lifnaðarháttum. Frumuveggur þeirra er í aðallega úr kítíni, en aðrar fjölliður eru líka þekktar.

Það, sem greinir kytrusveppi frá öllum öðrum frumverum, er, að kvikar frumur þeirra (bifgró og kynfrumur) eru búnar aðeins einni svipu á afturenda.

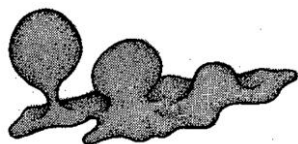
Sumir kytrusveppir eru einfruma lífverur, og mynda ekki þal, en breytast í æxlunarfrumur við ákveðin skilyrði. Aðrir kytrusveppir hafa mjóa þræði, sem teygja sig inn í hýsilfrumur og fá þannig festu í lífsbaráttunni. Kytrusveppir eru illskeyttir sníklar í þráðormum, þörungum, egg sveppum, gróum plantna, frjókornum, blöðum og rótum vefplantna; þeir geta líka verið rotverur til að mynda á dauðum skordýrum. Tegundir ættkvíslarinnar *Coelomomyces* eru sníklar á moskítólirfum og hafa menn reynt að rækta þá til þess að eyða lirfum.

Kynlaus æxlun allra kytrusveppa er mjög lík. Til að mynda innan ættkvíslar *Monoblepharis* myndast bifgró með einni svipu í sívölum hirsul. Frumukjarninn er umlukkur undarlega þykku hulstri.

Kynæxlun meðal kytrusveppa er ærið sundurleitt, og er hún ekki að fullu þekkt meðal allra tegunda.

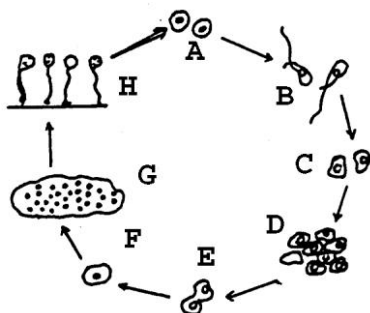
7.5 Totu-slímsveppir og slímsveppir

Til slímsveppa í víðri merkingu teljast nokkrir að líkindum lítt skyldir hópar lífvera. Líkamsbyggingin einkennist af samfrumungum, sem geta hreyft sig úr stað og tekið upp fæðusameindir í föstu formi. Oft er þeim skipt í totu-slímsveppi (*Acrasiomycota*) en það eru sambú



Í elstu heimild um slímsveppi á Íslandi (E. Rostrup, 1903: Islands Svampe) er getið sex tegunda. Nú eru kunnar um 50 tegundir, og er það að þakka öðrum Dana, H.F. Götzche, sem fæst við rannsóknir á slímsveppum á norðurhvara.

Helgi Hallgrímsson, 1988: Íslensk sveppaskrá 1.



Af slímsveppagróum (A) vaxa einlitna svarmmfrumur, slímsvipungar, með tvær mislangar svipur (B); svipurnar detta af og upp koma slímamöbur (C); þær skipta sér í sífellu (D); við samruna tveggja slímamöba (E) myndast tvílitna okfruma (F). Við margskiptingu vex upp samfrumungur (plasmodium) með tvílitna kjörnum (G). Samfrumungurinn ummyndast í gróbæra æxlihnúða (H); í þeim verður meiósa og einlitna gró verða til (A).

Þúsunda einkjarna amöbulegra frumna með glöggum skilum á milli frumna, »skinsamfrumungur« (*pseudoplasmodium*), og slímsveppi (*Myxomycota*), þar sem um er að ræða einn óslitinn lifandi frymismassa með þúsundum kjarna án nokkurra skilríma á milli frumna, »samfrumungur« (*plasmodium*).

Slímsveppir er sá hópur lífvera, sem fáir veita athygli. Kemur það til meðal annars af því, að tegundirnar eru jafnan smávaxnar (0,2-10 mm). Samfrumungarnir eru slímkenndir og formlausir og vaxa oftast á mörknum viði eða í sinuflóka við mikinn raka. Samfrumungarnir skríða áfram og breyta jafnan lögun sinni. Þekktasta tegundin hérlandis er skollamjól (Lycogala epidendrum) á fúnum trjástubbum. Í fyrstu er tegundin blóðrauð en verður síðan grábrún.

Í einu samfrumubúi er fjöldi kjarna frá 0,5 til 1 miljón í hverjum teningsmillímetra. Utan um samfrumubúið er slímkennd hula, sem heldur um frymismassann. Hulan nýmyndast stöðugt eftir því sem samfrumungurinn skríður áfram og sjá má slímkenndar leifar hennar, þar sem lífveran hefur skríðið yfir. Mestur hraði slímsvepps hefur mælst 1,35 mm á sekúndu.

Samfrumungarnir eru litlausir eða skærlitir. Algengustu litir eru gulur og hvítur en svartir samfrumungar eru nokkuð algengir. Litir kunna að breytast nokkuð eftir aldri, fæðu og sýrustigi umhverfisins.

Við æxlun breytast samfrumungarnir þannig, að amöbugerðin hverfur og þeir taka á sig sveppkennda mynd. Upp úr þykkildum vaxa æxlihnúðar. Í æxlihnúðunum verða til grófrumur við meiósu. Af hverjum fjórum gróum, sem til verða, rýrna þrjú. Við hagstæð skilyrði vaxa einlitna svarmmfrumur (slímsvipungar) upp af gróunum. Út úr fremri enda svarmmfrumna ganga tvær svipur, önnur löng og hreyfanleg en hin stutt. Eftir skamma stund detta svipurnar af svarmmfrumunum og þær verða að einlitna slímamöbum. Þær geta fjölgað sér kröftuglega við hagstæð skilyrði eins og hverjar aðrar amöbur. Við samruna tveggja amöba myndast tvílitna okfruma. Af þessari einu okfrumu myndast síðan samfrumungur við siendurteknar mítósuskiptingar. Hvort frumuveggir hverfi eða ekki, fer eftir því hvort um slímsveppi eða totu-slímsveppi er að ræða.

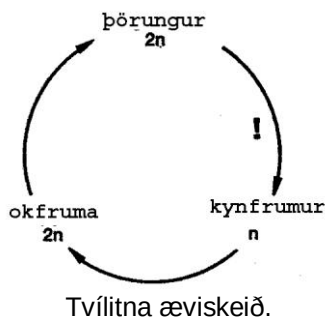
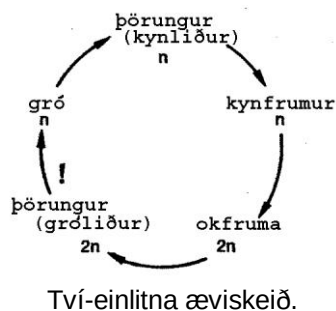
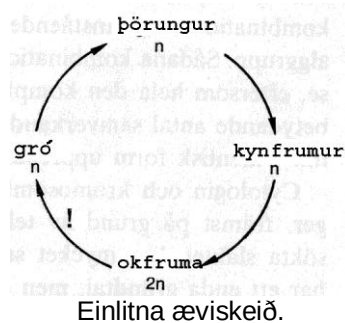
Allmargar undantekningar eru frá ferli því, sem hér er lýst. Meðal annars er á stundum ekkert svarmmfrumustig, og slímamöburnar geta lagst í dvala.

Fyrrum voru slímsveppir ýmist taldir til dýra eða plantna en oftast var um þá fjallað í tengslum við sveppi. Engu að síður eiga þeir ekkert skylt við þá fremur en aðrar lífverur.

Til totu-slímsveppa teljast um 65 tegundir, sem fyrrum voru taldar til slímsveppa. Til slímsveppa teljast um 450 tegundir. Sumir fræðimenn hallast að því, að lítill skyldleiki sé á milli þessara tveggja hópa, þrátt fyrir að útlitið sé svipað.

Lífverurnar, sem hér fara á eftir, eru allar þörungar. Þeir eru frumbjarga, það er mynda sjálfir öll lífræn efni, sem þeir þarfnast; einnig tekur hver einstök fruma nauðsynleg ólífræn, næringarefni beint úr umhverfinu og notar þau til framleiðslunnar á lífrænu efnunum.

Eins og aðrar frumbjarga lífverur hafa þörungar í sér laufgrænu svo og hin gulu eða rauðgulu litarefni



karótín og xantófyll. Þeir eru þó margvíslega litir og stafar það af því, að önnur litarefni, sem eru í litberum, hylja græna litinn. Oftast eru þeir grænir, en brúnir, rauðir og jafnvel gulir, ólívugrænir eða rauðfjólubláir þörungar eru algengir.

Hér er þörungum skipt í sex fylkingar: Brúnþörungar, gulþörungar, eldþörungar, dílþörungar, rauðþörungar og grænþörungar. Tvær hinna fyrst nefndu eru teknar saman vegna mikils skyldleika og ekki er lögð mikil áhersla á eldþörungar og dílþörungar (smátt letur).

Til grænþörungar heyrir að sönnu margir einfrumur, sem skipa stóran sess í svifi sjávar og stöðuvatna. Reyndar er það svo, að fleiri tegundir grænþörungar munu lifa í fersku vatni en söltu og nokkrir þeirra vaxa í rökum jarðvegi, á trjám og steinum. Talið er sennilegt, að vefplöntur, sem fram komu fyrir rúmum 430 miljón árum, séu með einum eða öðrum hætti afkomendur fornra grænþörungar.

Hinar fylkingarnar tvær, rauðþörungar og brúnþörungar, lifa nær eingöngu í söltu eða ísöltu vatni og eru að langstærstum hluta fjölfrumur, nema örfáir rauðþörungar.

Áður hefur komið fram, að ef til vill megi rekja uppruna grænkorna í rauð-, brún- og grænþörungum til gerla. Í grænkornum rauðþörungar er laufgræna *a* og *fúkóbílín* og líkjast þau um margt fornum blágerlum. Má ætla, að blágerlar hafi tekið sér bólfestu í frumunum. Í grænkornum grænþörungar er laufgræna *a* og *b* eins og í dílþörungum og vefplöntum. Sömu efni er að finna í grængerlum og bendir það til ákveðins skyldleika. Þá má ætla, að gulbrún grænkorn með laufgrænu *a* og *c* í gulþörungum og eldþörungum, sem eru náskyldir brúnþörungum, eigi rót sína að rekja til gerla, sem eru náskyldir *Heliobacterium chlorum*. Grænkorn þessi kunna að vera komin af dreifkjarna frumum, sem hafa orðið innlyksa í þörungum, en frumgerð þeirra er án alls efa að rekja til gerla.

Margt er það enn, sem skilur að þessar fylkingar þörungar. Fjölsykran *beðmi* er í frumuvegg margra hópa innan allra fylkinga, en að auki eru mörg efni önnur, sem koma við sögu. Meðal rauðþörungar eru svipur algjörlega óþekktar. Á brúnþörungum eru mislangar svipur en jafnlangar á þeim grænþörungum, sem þær hafa. Þá eru æviskeið þörunganna með ýmsu móti eins og kemur fram á myndum hér á síðunni.

Í frumum rauðþörungar eru engin *deilikorn* en þess í stað eru mjög sérstæðar myndanir, sem nefnast *skauthringir* (polar rings). Þeir eru í tengslum við kjarnann og hreyfast líkt og *deilikorn* annarra þörungar í prófasa mítósu. Óvíst er, hvort *skauthringir* eru



Verð á hrossapara

Eg held nú, að eg sé búinn að taka fram allt það helzta, sem í þessu sambandi skiptir máli um þessar nytjaplöntur, eða nytjaplöntur ættu þær að geta orðið, ef rétt er að farið. Aðeins hefi eg ekki ennþá minnst þess, að fyrir hrossaparann hafa verið boðin £ 7 á smálestina, eða röskar 150 kr. íslenskar, og þar af verður því miður að kosta farmgjaldið, verðið er með öðrum orðum c.i.f. Fyrir kílóíð af þurrkuðum para ætti þó að mega greiða 6-8 aura ef vel ætti að borga sig að vinna þessa vöru fyrir þetta verð.

Árni Friðriksson: Fjörugrös og hrossapari. Náttúrufr. 6. árg. 1936.

samsvarandi að gerð og uppruna og deilikornin. Löngum hefur verið á það bent, að margt í fari rauðþörungum er líkt og meðal asksveppa, en það þarfnast nánari athugunar við.

Í grænþörungum sem og öllum vefplöntum safnast forðanæring í formi *mjölva* (sterkju) inni í plastíðum. Í öllum öðrum frumbjarga heilkjörnungum safnast forðanæringin saman í glærfryminu fyrir utan plastíðin. Í rauðþörungum er forðasykran *mjölvi* en í brúnþörungum er hún *lamínarín*. Báðar þessar fjölsykrur eru úr glúkósaeyningum en mismunurinn er fólgin í því, að tengingar á milli eininganna eru með ólíkum hætti. Önnur forðanæring í brúnþörungum er *mannítól*, sem er alkóhólsykrungur.

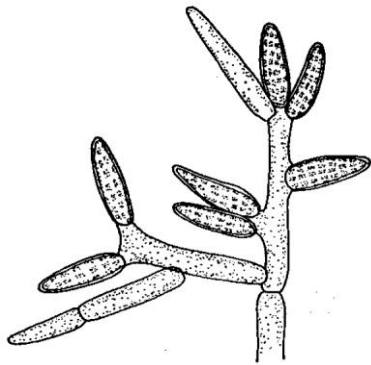
Innan þessara fylkinga eru ekki ýkja margar frumugerðir og yfirleitt eru frumurnar hvorki mjög sérhæfðar né raða sér saman í vefi. Í nokkrum þarategundum (brúnþörungum) vottar þó fyrir miðlægum streng, en frumur í honum minna um sumt á sérhæfðar leiðslufrumur í vefplöntum. Æxlunarfæri þörungum er úr einstökum frumum en eru ekki sérlegar vefjamyndanir eins og í vefplöntum (mosum og æðaplöntum).

7.6 Brúnþörungur og gulþörungur

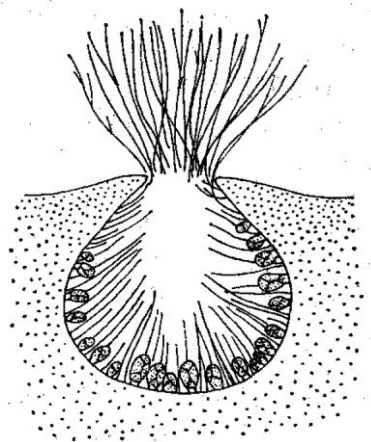
Náinn skyldleiki er á milli gulþörungum og brúnþörungum. Nokkrir gulþörungur eru taldir líkjast mjög einfrumungum, sem brúnþörungur þróuðust frá. Brúnþörungur lifa flestir í söltum sjó en gulþörungur bæði í sjó og fersku vatni. Í þessum þörungum er laufgræna *a* og *c*, en græni liturinn er oft hulinn af öðru litarefni, *fúkóxantíni*, sem er karótínefni. Í sumum tegundum eru gul litarefni (β-karótín og þrjú xantófyllefni), sem ná ekki að hylja alveg græna lit laufgrænnar (*a* og *c* laufgrænu). Þar eð grænn litur er áberandi meðal sumra tegunda, voru þeir oft áður flokkaðir með grænþörungum.

Bæði í gulþörungum og brúnþörungum myndast forðafjölsykrurnar *lamínarín* og *krýsolamínarín* fyrir utan grænuhornin; að auki myndast *mannítól* í brúnþörungum, en aðrir eru ríkir af prótínum en einkum þó fituefnum. Vegna þessara sameinkenna eru margir þeirrar skoðunar, að gulþörungur og brúnþörungur eigi að heyra til sömu fylkingar.

Gulþörungur eru oft án frumuveggjar og geta þá sent út skinfætur til þess að fanga bakteríur og lífrænar



Myndin sýnir karl-kynhirslur á *Fucus*-tegund.



Myndin sýnir kven-kynhirslu á *Fucus*-tegund.

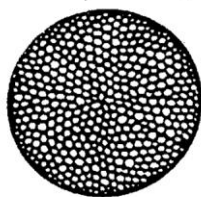
fæðuagnir. Sumar tegundir eru svo nauðalíkar teygjudýrum (amöbum), að ógerningur er að greina þar á milli að öðru leyti en því, að þörungarnir hafa grænukorn. Þar, sem frumuvegg er að finna, er hann úr pektíni eða beðmi og styrktur af kalki eða kísli. Myndast þá nokkurs konar hulstur eða brynja (*lorica*) utan um þörunginn.

7.6.1. Brúnþörungar

Til brúnþörungna teljast um 1500 tegundir og eru þeir langmest áberandi í tempraða og kaldtempraða beltinu. Stærð þeirra er allt frá smásæjum eintökum til risastorra þarabrúska. Stórvöxnustu tegundir brúnþörungna kallast einu nafni *þarar*. Þeir mynda þaraskóga neðan fjörumarka niður á 20 til 30 metra dýpi og á allt að 5 til 10 kílómetra breiðu belti úti fyrir ströndu. Meira að segja í hitabeltinu, þar sem þeir eru sjaldséðari en annars staðar, eru þeir á floti í óheyrilegu magni, eins og tegundir af ættkvíslinni *Sargassum* í Þanghafinu (Sargassóhaf) við Bermúdaeyjar. Þarinn skiptist í *blöðku*, *stilk* og *þöngulhaus*, sem er marggreinótt fótfasta og greipar um steina, skeljar eða annað undirlag, og heldur þaranum föstum. Stilkur og blaðka draga nöfn sín af löguninni en eru ekki sömu gerðar og stöngull og blað í vefplöntum.

Æviferli flestra brúnþörungna er flókið og margbreytilegt. Á kynlið brúnþörungna myndast fjölfruma æxlunarhlutar, sem nefnast *marghólfa kynhirslur*. Hirslurnar eru annaðhvort sáðfrumu-myndandi eða eggmyndandi hylki en einnig geta myndast í þeim einlitna *svipugró*, sem leiða til nýs kynliðar. Gróliður er eins og alltaf tvílitna og á honum myndast hvoru tveggja *marghólfa* og *einhólfa gróhirslur*. Í *marghólfa* gróhirslum verða til *tvílitna bifgró* og af þeim vaxa nýir gróliðir. Meiósa verður hins vegar í *einhólfa* gróhirslum og leiðir til myndunar á *einlitna bifgróum*. Þegar þau spíra verða til nýir kynliðir.

Kynliður og gróliður ættkvíslarinnar *Ectocarpus* líta nákvæmlega eins út, eru einsmóta, og svipaðir á stærð. Meðal hinna stærri brúnþörungna eins og þarategunda, skiptist æviferlið í tvo mismunandi ættliði, það er fullvaxnir einstaklingar kynliðs annars vegar og gróliðs hins vegar eru tvenns konar. Gróliðurinn (tvílitna skeiðið) er stórvaxinn en kynliður (einlitna skeiðið) er smásær. Í hrossapara (*L. digitata*) til að mynda þroskast einhólfa gróhirslur á yfirborði þroskaðrar blöðku. Helmingur af þeim bifgróum, sem myndast, verða að karl-kynliðum og hinn helmingur að kven-kynliðum. Kynliðirnir eru smáir, greinóttir frumupræðir. Á karl-kynliðum (»karlplöntum«), sem eru all miklu minni en kven-kynliðirnir (»kvenplöntur«), eru *marghólfa*



Hringeskingur.



Langeskingur.

kynhirslur, sem í eru margar einfruma frjóhirslur. Í hverri frjóhirslu er aðeins ein frjófruma. Eins er háttað með kven-kynlið. Í hverri marghólfa kynhirslu eru aðeins einfruma egghirslur, og í hverri er aðeins ein eggfruma. Kynhirslnar á kven-kynliðum gefa frá sér alkanefni (með að minnsta kosti einn tvíbinding), sem draga frjófrumur að. Að lokinni frjóvgun myndast okfruma og situr hún föst á kven-kynlið og tekur að vaxa og verða að nýjum hrossapara (grólið).

Til ættkvíslarinnar *Fucus* teljast brúnþörungar, flatir eða blaðlaga, með kvíslgreint þal og miðtaug. Í þali sumra þeirra, svo sem bólubangs (*F. vesiculosus*) og belgþangs (*F. distichus* var. *typica*), eru loftblöðrur, hvor sínu megin við miðtaug. Flotbelgirnir halda þanginu uppi, þegar það er á kafi í sjó. Náskyld tegund er klóþang (*Ascophyllum nodosum*), með stórum flotbelgjum, en í þali þess er aldrei miðtaug. Það vex í fjörum, þar sem brimasemi er lítil, oft í gríðarlega miklu magni (meira en 20 kílógrömm á fermetra). Í Reykhólahreppi í Austur-Barðastrandarsýslu er þörungaverksmiðja, og er þar stundaður þangskurður. Að langmestu leyti er aðeins klóþang skorið, það þurrkað og unnið úr því mjöl.

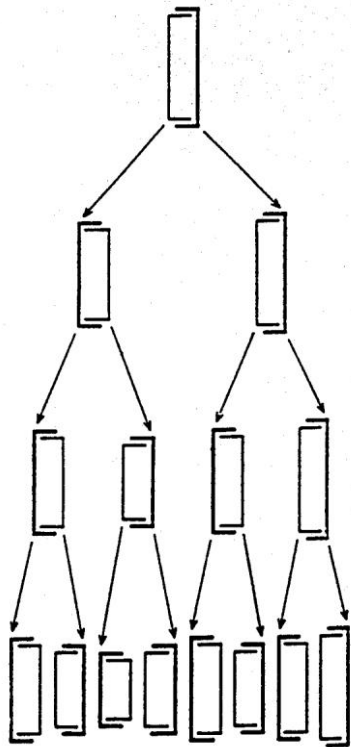
Æxlunarfærin á *Fucus*-tegundum sitja í litlum dældum, *kynbeðum*, í tvílitna þalinu (grólið). Innan á vegg kynbeðsins eru frjó- og egghirslur, annaðhvort í sama kynbeði eða sitt í hvorum. Í frjó- og egghirsllum verður meiósa, sem leiðir til þess, að í hverri frjóhirslu myndast 64 frjófrumur og 8 egg í hverri egghirslu. Kynfrumur úr báðum hirsllum losna út í sjó og þar fer frjógunin fram. Frjóvguð eggfruma, okfruma öðru nafni, vex síðan og verður að nýju tvílitna þangi. Ættliðaskipti eru því engin í æviferli *Fucus*-tegunda.

7.6.2 Gulþörungar

Gulþörungunum er oft skipt í gullþörungum (500 tegundir), gulgrænþörungum (550 tegundir) og kísilþörungum, en af þeim eru til um 5600 núlifandi tegundir, en þær eru að minnsta kosti 40'000, ef taldar eru með útdauðar tegundir, sem er að finna í jarðlögum.

Það sem skilur kísilþörungum frá öllum öðrum þörungum, eru tvær kísilskeljar, sem lykja um eina frumu. Skeljarnar eru settar margvíslegu munstri og lögun þeirra er með ýmsum hætti. Kísilþörungar eru aðallega einfrumu lífverur og burðarás í svifi bæði í sjó og vötnum. Þeir lifa líka á botni eða sem ásætur á öðrum þörungum og plöntum.

Kísilþörungar eru að því leyti ólíkir öðrum gulþörungum, að þeir bera engar svipur, nema nokkrar



Frumuskipting kísilþörungs. Sýnt er, hvernig frumustærðin breytist eftir eina, tvær og þrjár skiptingar.

karl-kynfrumur. Sérkenni þeirra er þó framar öllu frumuveggirnir eða skeljar úr ópallitum kísil ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$). Þessar þunnu kísilskeljar eru tvær (efri og neðri skel). Efri skelin er ívíð stærri og fellur yfir hina neðri eins og lok, svo að kísilþörungar minna helst á öskjur með loki á. Skeljarnar eru oft mjög flúraðar og er útflúrið notað til þess að ákvarða tegundir en framleiðendur smásjáa nota þær líka til þess að komast að gæðum linsa. Í rafeindasmásjá sést, að hið fíngerða munstur á skeljunum er margvísleg göt, dældir og rásir, sem tengir lifandi umfrymið innan skelja við umhverfið. Í umfryminu ber mest á brúnleitum plastiðum með *a* og *c* laufgrænu auk *fúkoxantíns*.

Á grundvelli lögunar skelja er kísilþörungum skipt í tvo hópa: (a) Langeskinga (*Bacillariales*), sem eru tvíhliða samhverfur og hringeskinga (*Biddulphiales*) með geislotta líkamsgerð. Hringeskingar lifa flestir í söltu vatni.

Kísilþörungar fjölga sér einkum við kynlausa æxlun. Þegar fruman hefur skipt sér opnast skelin og fylgir annar helmingur skeljar hvorri dótturfrumu. Efri skel og neðri skel móðurfrumu verða báðar að efri skel dótturfrumna og þar af leiðir, að önnur dótturfruman verður lítið eitt minni en móðurfruma. Við endurteknar frumuskiptingar koma því fram sífellt minni og minni einstaklingar ásamt frumum af upprunalegri stærð. Ýmsar aðstæður geta þó komið í veg fyrir að meðalstærðin minnki um of. Innan hvernar tegundar eru þó jafnan til mjög misstórir einstaklingar. Alltaf öðru hverju kemur þó fyrir kynæxlun til þess að endurvekja stórar frumur. Frumurnar sem verða til við kynstarfsemi nefnast *risagró* (auxospore, gr. auxē, vökstur), og þær ná strax fullri stærð. Fáeinar tegundir búa yfir eggfrjóvgun (oogamy) og eru karllegu frumurnar biffrjó eða sáðfrumur. Meðal annarra tegunda verður samruni tveggja sams konar kynfruma (isogamy) og eru þær án svipa.

Kísilþörungar eru með gul, olívugræn og gulbrún litarefni. Forðanæring er í formi fjölsýkrunnar *krýsósa* og ýmissa fituefna. Þótt flestar tegundir kísilþörunga séu frumbjarga, geta nokkrar tegundir stundað ófrumbjarga lífshætti um stundarsakir og saga þeir þá til sín lífrænt kolefni. Einkum eru það botnlægir langeskingar á grunnsvævi. Á hinn bóginn eru til örfáar tegundir, sem hafa að fullu misst laufgrænuna og um leið hæfileika til þess að tillífa. Þá eru nokkrar tegundir, sem hafa misst skeljarnar og lifa þær samlífi með allstórum götungum (Foraminifera) og sjá þeim fyrir lífrænum næringarefnum.

Margir langeskingar geta hreyft sig úr stað, þó að þá skorti svipur eða annan hreyfibúnað. Það, sem ýtir þeim áfram, er velli, sem á sér stað fyrir ýmis eðlis- eða

efnaáreiti. Eftir endilöngum skeljum kísilþörunga, sem geta hreyft sig, er svo kölluð *glufa* (rafe), sem í raun er flókið kerfi opa og rása. Glufan hefur þróast sem hreyfitæki ásamt opi fremst á skelinni. Í sífelli streyma efni út á einum stað og inn á öðrum. Víst er, að kísilþörungar svara margvíslegu ytra áreiti eins og hita, ljósi og kunna að varast skaðleg efni.

Kísilþörungar lifa svo að segja hvarvetna þar, sem raka er að finna. Þegar þörungarnir deyja, falla skeljarnar til botns og mynda víða þykk lög, kísilgúr, því að þær varðveitast í miljónir ára. Af botni Mývatns er dælt upp kísilgúr, hann hreinsaður og seldur úr landi. Í uppþornuðum tjörnum má víða sjá ljósgrátt lag í jarðveginum, sem nefnist barnamold, en það eru leifar kísilþörunga.

7.7 Eldþörungar

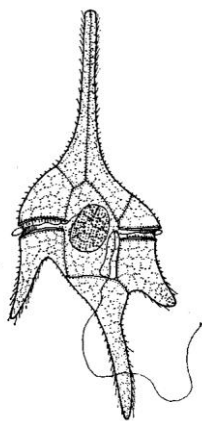
Allmjög er á reiki innan flokkunarfræðinnar hvaða þörungar heyra til eldþörunga (Pyrrophyta). Flestir eru þó einfrumungar, oft búnir svipum. Þekktar eru fleiri en 1000 tegundir og eru margar þeirra með mikilvægustu frumbjarga svifverum í sjó; aðrar lifa í fersku vatni. Margir eldþörungar geta ekki hreyft sig og eru með engar svipur. Flestir eru frumbjarga en aðrir ófrumbjarga ýmist á vissu æviskeiði eða ævilangt. Þeir taka inn fasta fæðu gegnum sérlegan munna, meira að segja heilar frumur í einu.

Í flestum eldþörungum er *a* og *c* laufgræna, en hún er oft hulin af karótínefnum, þar á meðal *peridíni*, sem er skylt fúkóxantíni. Forðafjölsýkra er mjölvi og ýmis fituefni, sem oft sjást sem rauðir eða gulir dropar í frumum. Margir eldþörungar geta ekki lifað nema fá í sig B₁₂ vítamín. Frá þeim sjónarhóli eru þeir ekki algjörlega frumbjarga.

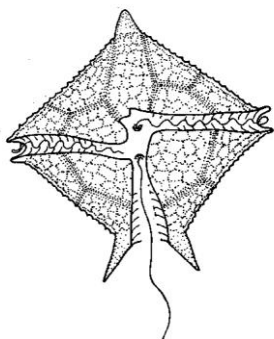
Inni í sumum eldþörungum í hitabeltinu lifa blágerlar í samlífi við þá. Ekki er að fullu ljóst í hverju sambýli þeirra er fólgið. Á hinn bóginn lifa eldþörungar margir hverjir í nánu sambýli við fjöldamargar tegundir. Nægir þar að nefna svampdýr, stórhveljur, smáhveljur, kóraldýr, flatorma og viss frumdýr. Í einni risasamlöku litast hlutar möttulsins kaffibrúnir af eldþörungum. Eldþörungar eru einkum áberandi í kóraldýrum. Víst þykir á milli þessara tveggja lífvera ríki náð samlífi. Báðir aðilar njóta góðs af og er hér um samhljálp að ræða. Þörungarnir framleiða lífræn efni en kóraldýrin gefa frá sér efni, sem örva vöxt þeirra. Þar eð eldþörungar þarfnast ljóss, þrífast kóraldýrin jafnan ekki á meira en 60 metra dýpi. Greining eða lögun kóraldýranna verður því dæmlik trjám og má líkja þeim við stofn og greinar en eldþörungum við laufblöð.

Skorupþörungar heyra til eldþörungum, en þeir eru oft uppi-staða í svifi sjávar. Á hverju vori fara fram mælingar á vexti þeirra og viðgangi í hafinu umhverfis Ísland. Fyrir kemur, að þeir eru í svo miklum mæli, að sjór litast rauður af þeirra völdum. Nafn fylkingarinnar, eldþörungar, er af því dregið. Nokkrar tegundir eru sjálflýsandi (meðal annars *Noctiluca miliaris*) og valda einkennilegum ljósfyrirbrigðum, sem nefnast *maurildi* eða *maureldar*.

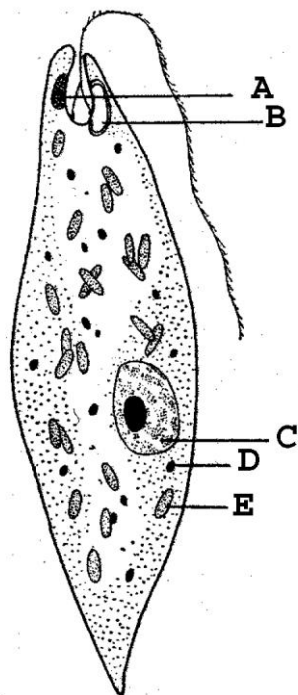
Utan um flesta skorupþörunga eru harðir beðmisveggir,



Ceratium, × 200



Peridinium, × 500



Myndin sýnir dílpörung (*Euglena*), A: augndíll; B: safabóla; C: kjarni; D: paramylum (forðasykra); E: grænkorn.

Þá mælti Drottinn við Móse: Seg við Aron: Tak staf þinn og rétt hönd þína út yfir vötn Egiptalands, yfir fljót þess og ár, tjarnir og allar vatnsstæður, og skulu þau þá verða að blóði, og um alt Egiptaland skal vera bæði í tréflátum og steinkerum. Og Móse og Aron gjörðu sem Drottinn hafði boðið þeim; hann reiddi upp stafinn og laust vatnið í ánni að ásjáandi Faraó og þjónum hans, og alt vatnið í ánni varð að blóði. Fiskarnir í ánni dóu, og áin fúlnaði, svo að Egiptar gátu ekki drukkið vatn úr ánni, og blóð var um alt Egiptaland.

Þetta dæmi úr II Mósebók, 7. kafla, er talið lýsa þörungablóma tegundarinnar *Euglena sanguinea*.

gerðir oftast úr tveimur hlutum. Brynjan er með ýmsu móti og líkist oft skrautbúnum hjálmum eða brynklæðum. Um miðjan þörunginn gengur því lítil skora umhverfis hann allan. Þvert á skoruna gengur síðan önnur skora, en hún nær sjaldnast nema hálfa leið umhverfis. Skorubörungar hafa tvær svipur og veit önnur aftur en hin liggur í þverskorunni.

Skorubörungurinn *Gonyaulax tamarensis* veldur eitrun m.a. í kræklingi, ef hann nær að vaxa í miklum mæli. Eiturefnin eru vel þekkt en hins vegar er ástæðan fyrir ofurvexti þörunganna óþekkt. Erlendis víða er talin mest hættu af hans völdum á sumrin eða í r-lausum mánuðum (þ.e. maí, júní, júlí og ágúst). Hann lifir í sjó hér við land en sjaldan í það miklum mæli, að hættu stafi af.

7.8 Dílpörungar

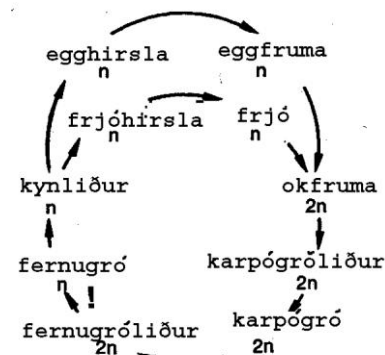
Dílpörungar (Euglenophyta) lifa einkum í fersku, næringarmiklu vatni. Þeir eru æði sundurleitir hópur nærri 800 tegunda, sem teljast til 40 ættkvísla, og eru frá 10 til 500 μm að lengd. Allir eru þeir einfrumungar nema tegundir innan ættkvíslarinnar *Colacium*, sem mynda sambú og sitja á stórvöxnu plöntu- og dýrasvifi.

Líklegt þykir, að dílpörungar hafi þróast frá svipuðum bakteríum (*Prochloron*) og grænpörungar. Til þessa bendir meðal annars gerð grænkorna, en í þeim eru bæði laufgræna *a* og *b* auk β -karótín- og xantófyllefna. Þess ber þó að geta, að margir dílpörungar eru án grænkorna eins og vikið verður að síðar.

Flestir dílpörungar hafa augndíl og svara áreiti ljóss. Þeir safna forða í formi forðasykrunnar *paramýlums*, sem myndast í umfryminu en aldrei í grænkornunum eins og meðal grænpörunga og vefplantna. Forðafjölsýkran er óþekkt í öðrum lífverum en er skyld *lamínaríni*. Dílpörungar þrífast líka í myrkri, ef þeim er séð fyrir fæðu og nauðsynlegum vítamínum og steinefnum. Ef dílpörungar eru ræktaðar í næringarríkri lausn við vildishita og ljós, fjölga þeim hraðar en svo, að grænkorn nái að myndast í afkvæmum. Þessir grænkornalaus einstaklingar eru á stundum taldir til sérstakrar ættkvíslar (*Astasia*). Tegundir, sem hafa ekki grænkorn, safna paramylum líka sem forða. Fjöldi dílpörunga er oft mikill í menguðu vatni.

Dílpörungar geta myndað um sig hlaupkennt efni, einkum þegar þeir lifa við erfiðar aðstæður svo sem í efju, þar sem vatn er takmarkað. Þegar vatnið verður nægjanlegt að nýju yfirgefa þeir slímhjúpinn. Þeim fjölga við einfalda frumuskiptingu og synda um á meðan á skiptingu stendur. Eins og hjá sumum öðrum frumverum, svo sem grænpörungum, eldpörungum, mörgum sveppum og sumum frumdýrum, hverfur kjarnahjúpurinn ekki í mítósuskiptingu. Ekki er kunnugt um neins konar kynæxlun meðal þeirra.

Til ættkvíslar dílpörunga (*Euglenna*) teljast æði margar tegundir. Yfirleitt eru þeir ílangar frumur, flóknar að byggingu með mörgum smáum grænkornum. Svipur eru ein til fjórar, en oftast tvær, hin lengri einhliðhærð en hin styttri vart sjáanleg. Svipurnar ganga út um flöskulaga hylki á framendanum. Herpiólur, sem dæla umframvatni úr fryminu, veita vatninu inn í þetta hylki. Utan um dílpörunga er mjög sveigjanlegur prótínhjúpur en enginn þykkur veggur. Þegar þær synda sést hvernig þær hlykkjast áfram.



Æviskeið rauðpörungs.

Fyrrum var mest sölvatekja í Breiðafjarðareyjum og Saurbæ í Dalasýslu. Að lokinni tínslu voru sölin þvegin í ósöltu vatni, þurrkuð, helst í sólskini, og troðið í tunnur. Utan á sölin sest hvít sykurskán, sem kallast hneita. Söl voru etin með harðfiski og smjöri og þykja holl fæða. Enn eru söl nýtt og hafa nokkrir bændur sölvatekju að aukabúgrein.

Úr frumuveggjum margra rauðpörunga er unninn agar, gerður að mestu úr fjölsykrum og myndar hlaup, þegar hann er blandaður vatni. Hann er notaður á margvíslegan hátt í iðnaði, meðal annars í lyfjahylki fyrir vítamín og lyf, í snyrtiefni, í matvælaíðnaði og sem æti við ræktun á gerlum og öðrum örverum.

Purpurahimnur (»nori«) þykja víða mikið lostæti, einkum í Japan og Kína.

7.9 Rauðpörungar

Rauðpörungar (Rhodophyta) eru nokkuð margbrotnir að gerð og ætliðaskipti þeirra eru all flókin. Flestir rauðpörungar eru fastvaxnir, ýmist við steina eða aðra þörunga. Mjög fáar tegundir eru fljótandi, og bæði einfrumungar og sambú eru sjaldséð. Til eru um 4000 tegundir og eru innan við 100, sem lifa í fersku vatni (hérlandis: straumtog, *Lemanea condensata*, í straumvatni). Flestar þeirra vaxa í hitabeltinu og hinu heittempraða. Þó eru allnokkrar tegundir á kaldari svæðum jarðar; hér við land vaxa um 90 tegundir. Af þekktum tegundum má nefna kórálþang (*Corallina officinalis*) og söl (*Palmaria palmata*).

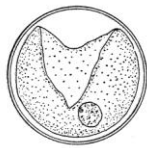
Rauði liturinn stafar af vatnsleysnu efni, *fúkóbílíni*, sem hylur laufgrænu *a* og *d*, en hún er í litlu magni. Fúkóbílín og *d* laufgræna eru hjálparefni við ljóstillífun. Þau fanga orku í grænum, fjólubláum og bláum rafsegulbylgjum ljóssins betur en *a* laufgrænan. Nokkur litarefni önnur eru þekkt. Rauði liturinn er oft nokkuð breytilegur og fer eftir efnum og aðstæðum. Þannig eru fjörugrös (gvöndargrös; *Chondrus crispus*) oft fjólublá í grunnu vatni en blóðrauð á miklu dýpi.

Frumuveggur í rauðpörungum er einkar sterkur og er hann úr beðmi eða öðrum fjölsykrum auk slímefna (»carragheen«), sem gefa honum sveiganleik og slímuga áferð. Í frumuveggi sumra rauðpörunga safnast kalsíum-karbónat. Við það verða þeir harðir og steingerðir. Kórálþang er dæmigerður kalkkenndur þörungur. Nýverið fannst rauður kalkþörungur á 268 metra dýpi, en það er mun meira dýpi en ljóstillífandi heilkjörnungar hafa fundist á áður, og 100 metrum neðar en sólargeislar ná að jafnaði.

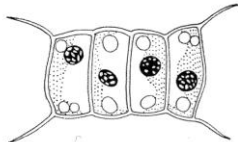
Flestir rauðpörunga eru yfirleitt fingerðir og gerðir úr þráðum, sem oft eru samanoftir. Haldast þeir saman af slímkenndu efni. Eitt einkenni rauðpörunga er, hvernig frumur þeirra eru vaxnar saman og myndast brú á milli aðlægra frumna tveggja samhliða frumuþráða. Einnig eru hliðartengsl, en þá eru lítil korn á milli frumuþráða. Í örfáum ættkvíslum (meðal annars purpurahimnum, *Porphyra*) raða frumur sér saman líkt og í tróðvef æðaplantna.

7.10 Grænþörungar

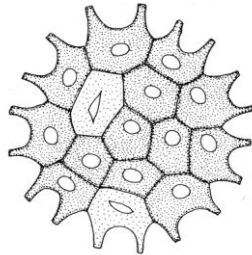
7.10.1 Inngangur



Chlorella, × 3600



Scenedesmus, × 850



Pediastrum, × 350

Myndin sýnir þrjár gerðir af einfruma grænþörungum.

Grænþörungar (Chlorophyta) eru fjölskrúðugastir allra þörungna, bæði hvað varðar gerð og þróun. Til eru að minnsta kosti 7'000 tegundir. Auk þess að lifa í vatni, jafnt söltu sem fersku, eru margar tegundir, sem þrífast á hinum ólíklegustu stöðum eins og í snjó, á trjástofnum, í jarðvegi og í samlífi við sveppi, frumdýr og holdýr. Nokkrar tegundir, meðal annars innan ættkvíslanna *Chlamydomonas* og *Trentepohlia*, mynda mikið af hlífðarefnum (karótínefni) til þess að verjast of sterku skini sólar. Vegna þessara efna eru sumar tegundir ekki grænar, heldur fagurrauðar eða gular. Hér á landi vaxa tvær tegundir, sem eru rauðar á vissu þroskastigi og mynda »blóðpolla«; snæþörungur (*C. nivalis*), í leysingarvatni á jöklum, og blóðþörungur (*Haematococcus pluvialis*), vex í vatnspollum á klettum. Margar tegundir eru smásæjar en aðrar, einkum sjávartegundir, eru stórvaxnar. Til að mynda getur tröllakyrja (*Codium magnum*), sem vex við strendur Mexíkós, orðið 25 cm á breidd og rúmir 8 metrar á lengd.

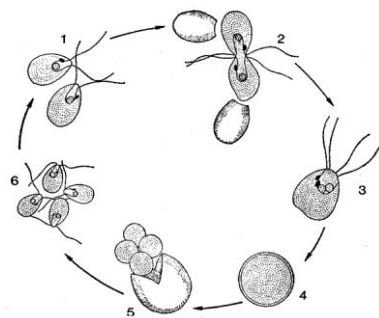
Grænþörungar minna um margt á vefplöntur. Í þeim er *a* og *b* laufgræna, forðafjölsýkra þeirra er mjölvi og safnast hún í plastíðin. Frumuveggur er stinnur úr beðmi auk hálfbeðmis og pektíns; einnig eru viss atriði í því hvernig grunnkorn tengist svipum í nokkrum plöntufrjófrumum, sem minna á grænþörungna. Allt bendir þetta til þess, að vefplöntur séu með einum eða öðrum hætti afkomendur grænþörungna.

7.10.2 Flokkun

Fyrir því hve fylkingin grænþörungar er fjölskrúðug er nánari flokkun ýmsum vandkvæðum háð. Oft er þeim skipt í fimm flokka en þeir eru:

- Kransþörungar (Charophyceae)
- Grænhimnur (Ulvophyceae)
- Grænþráðungar (Chlorophyceae)
- (Micromonadophyceae)
- (Pleurostrophyceae)

Tveir síðast nefndu flokkarnir verða ekki til umfjöllunar



Kynæxlun grænsvipungs. 1: ólíkar gerðir kynfrumna (+ og -); 2: samruni (frjóvgun), frumuveggir losna frá; 3: Tvílitna fruma syndir um (planosygote); 4: okfruma (2n); 5 og 6: að lokinni meiósu myndast fjórar einlitna (n) afkvæmisfrumur.

Fyrir því, hve auðvelt er að rækta vatnagræningja, *Chlorella*, hefur verið hafin stórfelld framleiðsla á þeim víða um heim. Í Japan er búið til hvítt, bragðlaust duft úr þeim og því blandað saman við hveiti. Þykir það hollt, því að það er ríkt af vítamínum og prótínum. Þá hefur tekist að rækta þá í bland við gerla, sem breyta mjölvunum í fituefni. Gera menn sér vonir um að takast megi að framleiða eldsneyti úr þeim.

hér að öðru leyti en því, að til Micromonadophyceae heyra tegundir, sem trúlega eru meðal elstu fulltrúa grænþörungna og í hópi Pleurastrophyceae eru meðal annars tegundir, sem lifa í nánu sambýli við flatorma. – Þá er vert að vekja athygli á því, að nöfn flokkanna, kransþörungar, grænhimnur og grænþráðungar, eru ekki lýsandi fyrir allar tegundir innan hvers flokks. Má þar nefna sem dæmi, að innan grænhimna eru margar þráðlaga tegundir.

Nokkur munur er á milli flokka í ýmsum grundvallaratriðum. Í kransþörungum og grænhimnum hverfur kjarnahjúpurinn við frumuskiptingar eins og í vefplöntum og vefdýrum en ekki í grænþráðungum. Einfrumungar búnir svipum koma fyrir innan allra flokka, meðal grænþráðunga sem sjálfstæðar tegundir en aðeins í formi kynfrumna hjá nokkrum hinna. Talsverður munur er á einfrumungum eftir því til hvaða flokks þeir teljast. Kransþörungar og grænþráðungar lifa einkum í fersku vatni en grænhimnur aftur á móti í söltum sjó. Um jafn-, mis- og eggfrj.

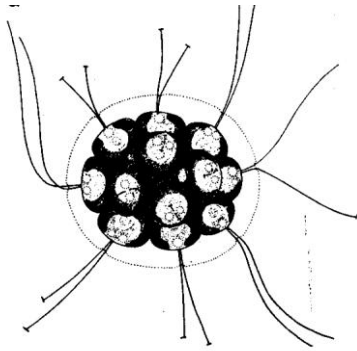
7.10.3 Grænsvipungar og sambú

Flestar tegundir grænsvipunga lifa í vatni, fersku og söltu, sem svifverur. Fáeinar tegundir þrífast á landi, í rökum jarðvegi, á trjástofnum og víðar.

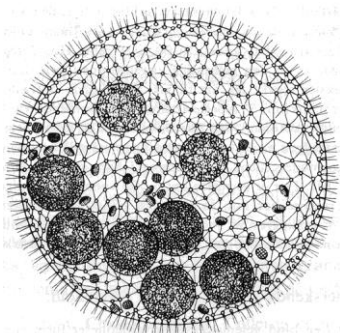
Til grænsvipunga teljast einfrumungar með tveimur svipum, meðal annars fjölmargar tegundir af ættkvísinni *Chlamydomonas*. Grænsvipungar eru litlir (innan við 25 míkrometrar á lengd), hnöttóttir eða perulaga. Á frumum er *augndíll*, það er ljósnemi með rauðu litarefni, sem er náskyld *róðopsíni*, sjónpurpura í augum hryggdýra. Augndíllinn gerir frumunum kleift að synda í átt að ljósi, svo að þær megi nýta sér orku þess við tillífun. Frumuveggur er ekki úr beðmi heldur þunnu og stinnu lagi af glýkóprótíni, sem geymir mikið af hydroxíprólíni. Grænkornin eru með ýmsu móti, en algengust eru bikarlaga korn með einum pýrenoíða í þykkum botni bikarsins. Í fremri enda frumunnar eru tvær herpibólur, sem losa hana við vatn, sem er umfram þarfir.

Á stundum kemur það fyrir við vissar aðstæður, að grænsvipungar missa svipur sínar og myndast þá þykkt lag af hlaupkenndu efni utan um þá. Til er líka, að grænsvipungar hafi engin grænkorn en safni forða í formi mjölvu engu að síður (ættkvíslin *Polytoma*). Sumir grænsvipungar, sem líkjast *Chlamydomonas* tegundum, hafa fjórar svipur (ættkvíslin *Carteria*).

Kynlaus æxlun grænsvipunga fer fram á þann hátt, að einlitna kjarni skiptir sér mítósu, svo að fjórir dótturkjarnar verða til innan móðurfrumunnar. Utan um



Ættkvíslin *Pandorina* dregur nafn sitt af konunni Pandóru í grískum goðsögnum. Þar eð Prómeþeifur hafði stolið eldinum, var Pandóra send til mannheima í refsingarskyni. Seifur fól henni öskju, sem í voru öll mannanna mein. Af einskærri forvitni opnaði hún öskjuna og sluppu meinin þá út, en vonin ein varð eftir á botni öskjunnar.



Kúluhverfla (*Volvox aureus*). Á myndinni sjást nokkur kúluskot.

kjarnanna myndast síðan frumuveggur og svipur taka að vaxa. Dótturfrumurnar þroskast inni í móðurfrumunni nokkurn tíma, en gefa svo frá sér ensým, sem brýtur niður frumuvegg móðurfrumunnar, og þær sleppa út og nefnast *bifgró*. Sumir fræðimenn álíta, að þess háttar samansafn dótturfrumna hafi leitt til þróunar á fjölfrumungum.

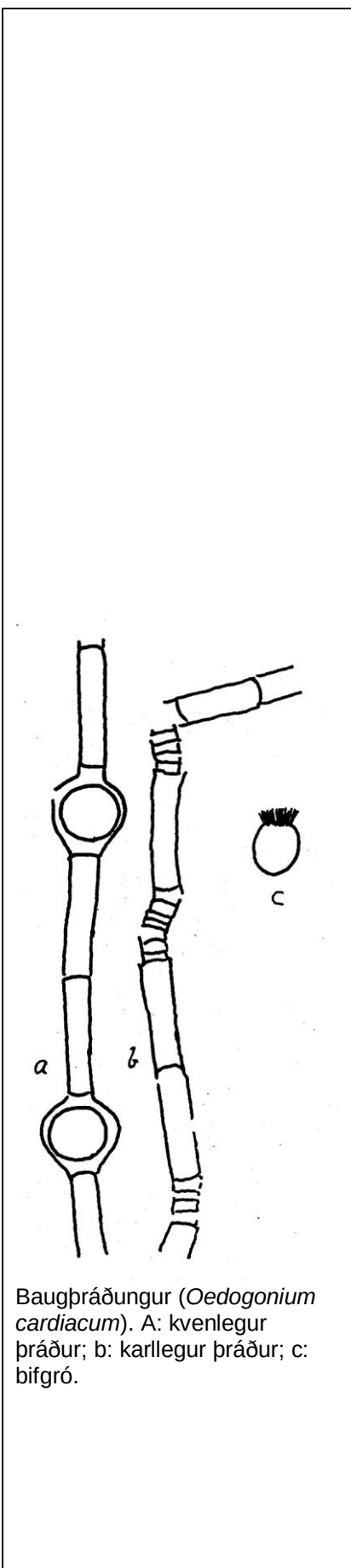
Kynæxlun grænsvipunga felst í því, að einlitna einstaklingar, sem heyra til tveggja óskyldra stofna, renna saman. Venjulegar frumur byrja að skipta sér mítósu og við það verða til aðrar frumur, sem líta eins út en eru nokkru minni. Hvort heldur sem vill má álíta þær kynfumur eða bifgró. Þær eru oft fastar saman í hópum og svo getur komið að því, að tvær og tvær festist saman á himnu, sem er við rót svipunnar. Brú myndast þar á milli frumnanna og þá losnar um svipurnar, svo að þær geta farið að synda um (kallast þá *planozygote*). Smám saman verður samruninn meiri og meiri uns svipurnar fjórar detta af (*coccoid* stig; hnykilsstig) og þær að lokum mynda þykkveggja okfrumu, sem reyndar má skilgreina sem okgró. Að dvalatíma liðnum verður meiósa í okfrumunni og út synda fjórar litlar dótturfrumur með tveimur svipum. Annaðhvort vaxa þær og verða fullburða einfrumungar eða fyrir getur komið líka, að þær sameinist á nýjan leik tvær og tvær og verði að nýrri okfrumu.

Ekki hafa allir grænsvipungar svipur. Þeir eru á stundum nefndir *grænhnyklar* (-coccus). Þekktastir úr þeim hópi eru vatnagræningjar (*Chlorella*), sem skortir svipur, augndíl og herpiþólur. Vatnagræningjar voru mikið notaðir til þess að rannsaka ljóstillífun (CO_2 -bindingu) á sínum tíma, meðal annars vegna þess hvað auðvelt er að rækta þá. Kynæxlun er óþekkt meðal vatnagræningja, svo að þeir fjölga sér aðeins með mítósu. – Flestir grænkokkar lifa í nánú sambýli við aðrar lífverur, svo sem frumdyr, svampdyr, kóraldyr og margar lífverur aðrar, þar sem ekki er þörf á að synda um.

Sambú myndast við það, að margir einfrumungar raða sér saman á skipulegan hátt. Annaðhvort eru þetta svipulausir grænþörungar, grænkokkar, eða búnir svipum, grænsvipungar. Sé um grænkokka að ræða, geta sambúin ekki ferðast um heldur velkjast í fjöruborði. Þekktastir eru netþörungar (*Hydrodictyon*). Frumur þeirra eru sem langir sívalningar, sem hanga saman á endunum, svo að stórt bil verður á milli þeirra. Þeir fjölga sér jafnt með kynlausri æxlun sem kynjaðri.

Hverfiþörungar er sameiginlegt heiti þeirra grænsvipunga, sem mynda sambú, sem geta hreyfst. Hlaupkennt efni tengir frumurnar saman og að auki eru oft frymistengsl á milli þeirra. Grænsvipungarnir tilheyra nokkrum ættkvíslum og skal helstu getið.

Einfaldasta sambúið af þessari gerð heyrir til



Baugþráðungur (*Oedogonium cardiacum*). A: kvenlegur þráður; b: karllegur þráður; c: bifgró.

ættkvíslarinnar hornhverflur (*Gonium*). Hvert sambú er úr 4, 8, 16 eða 32 frumum, sem er haldið saman af hlaupkenndu efni. Sambúin eru oftast plötulaga. Sérhver fruma sambúsins getur beitt svipum sínum að vild og jafnframt skipt sér mítósu og orðið að nýju sambúi. Kynæxlunin er jafnfrjóvgun.

Hnoðhverflur (*Pandorina*) mynda þétt, egglega sambú úr 16 eða 32 frumum. Þegar sambú hefur náð hámarks stærð, sekkur það til botns. Sérhver fruma byrjar að skipta sér til þess að mynda nýtt sambú. Á meðan á þessu stendur, haldast frumurnar saman í gamla hlaupinu. Þegar svipur hafa vaxið á dótturfrumurnar, opnast hlaupið, líkt og askja Pandóru, og nýju frumurnar losna frá. Kynæxlun (jafnfrjóvgun) er líka þekkt meðal hnoðhverfla.

Blöðruhverflur (*Eudorina*) mynda enn aðra gerð af sambúi. Fjöldi frumna er 32, 64 eða 128. Blöðruhverflur eru að því leyti ólíkar hinum tveimur fyrrnefndu, að sumar frumur eru minni en aðrar. Þessar litlu frumur geta ekki skipt sér og orðið að nýjum sambúum. Hér er því eitt dæmi um sérhæfingu á milli frumna. Blöðruhverflur fjölga sér ýmist kynlaust eða með kynæxlun (eggfrjóvgun)

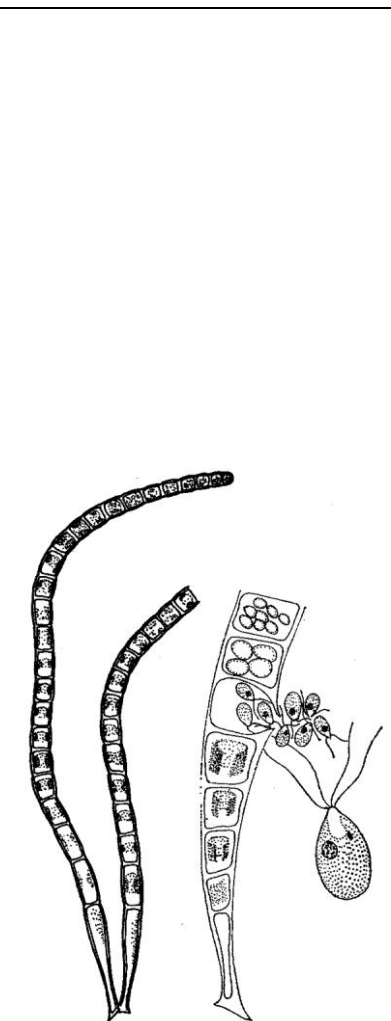
Forvitnilegust allra sambúa eru kúluhverflur (*Volvox*). Sambúin eru hol að innan, gerð úr einföldu frumulagi, með á milli 500 og 60'000 frumum. Þau eru 1 til 2 millímetrar í þvermál og eru því risavaxin í samanburði við önnur sambú.

Kúluhverflur hafa tilhneigingu til þess að snúa í ákveðna átt, eða með öðrum orðum þær hafa fremra og neðra skaut. Vegna hreyfinga svipanna snýst sambúið bæði um sjálft sig og ferðast áfram, oftast í átt að ljósi.

Aðeins tiltölulega fáar frumur eru hæfar til þess að fjölga sér kynlaust. Þegar sambúið er ungt, er oft illgerlegt að þekkja þessar frumur frá öðrum, en þegar það þroskast skera þær sig greinilega úr. Þær eru jafnan við neðra skaut kúlunnar. Þegar þær taka að fjölga sér, vaxa litlar kúlur utan á sambúinu. Þá er þær hafa náð vissum þroska, gefa þær frá sér ensým, sem losar þær frá móðurkúlunni. Meðal sumra sambúa er þó greinileg verkaskipting þegar frá fyrstu tíð. Líta má á þær tegundir miklu heldur sem fyrstu spor í átt til vefjamyndunar fremur en sambú. Færir þetta okkur heim sanninn um það, að skörp skil í náttúrunni eru vandfundin.

Kynæxlun kúluhverfla er ætíð eggfrjóvgun og getur hún verið með ýmsum hætti. Sáðfrumurnar eru smáar og ílangar. Þegar þær hafa skipt sér, raðast þær saman í lítinn holknött eða frumuplötu. Okfruman er með þykkum vegg og geymist því vel um veturinn.

Náskyldar hverfipörungum eru lækjagarnir (*Tetra-*



Ullþörungur (*Ulothrix*). Til hægri á myndinni sést hvornig kynfrumur losna úr þræðinum.

spora), sem eru mjög algengar hér í lindarvatni. Frumurnar raða sér saman í garnalaga flysjur, allt að nokkrum metrum á lengd, sem flugsast í straumnum. Frumurnar eru búnar svo kölluðum *skinsvipum*, því að þær geta ekki stjórnað hreyfingum þeirra. Utan um frumusambúin er hlaupkennt efni og þau detta því sundur, þegar þau eru tekin upp úr vatni og verða að slímkenndum hrúgöldum.

7.10.4 Grænþráðungar

Grænþráðungar eru þráðlaga og um margt mjög sérstæðir. Meðal annars tengjast frumurnar innbyrðis með frymisstrengjum eða brúm eins og í vefplöntum. Grænþráðungar heyra til tveggja ættbálka, *burstþráðunga* (*Chaetophorales*) og *baugþráðunga* (*Oedogoniales*).

Burstþráðungar eru oftast greinóttir þræðir, ýmist með mjög stuttum eða löngum frumum. Á mörgum tegundum skaga burstkenndir þræðir út í umhverfið (*Chaetophora* spp.) og er nafn þeirra af því dregið. Innan einnar ættkvíslar (*Frittschiella*), sem vex í hinum heitari löndum, hafa vissar frumur sérhæfst til vaxtar á landi. Þunnir rætlingsþræðir vaxa niður í undirlagið, sem getur verið eðja, trjástofn eða laufblöð. Þræðirnir þola betur þurrk en flestir þræðir aðrir.

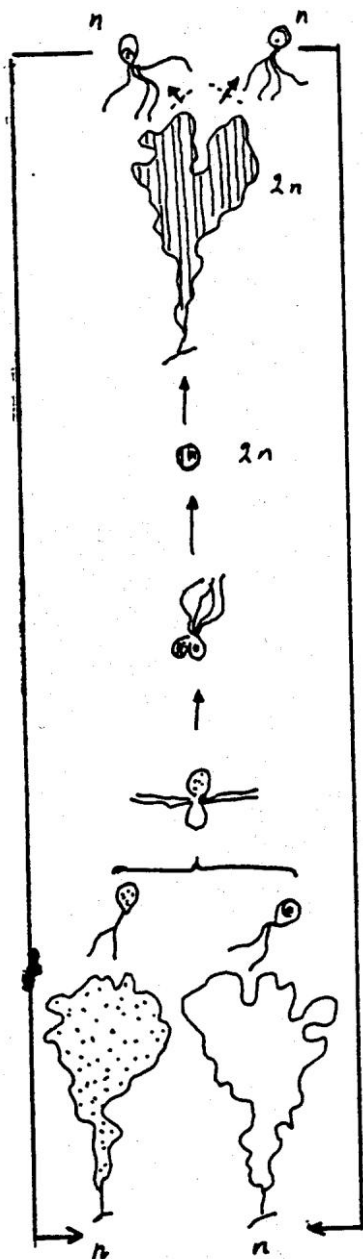
Baugþráðungar eru úr heilum þráðum. Nafnið er dragið af því, að á endum frumna eru þverhringir (baugar), sem verða til við frumuskiptingar. Við

kynlausu æxlun baugþörungna verða til bifgró, reyndar aðeins eitt úr hverri frumu. Þau eru með aragrúa svipa, á milli 100 og 150. Kynæxlun er eggfrjóvgun. Tvær sáðfrumur myndast í hverri frjóghirslu og ein eggfruma í hverri eggghirslu. Okfruman gengur í gegnum meiósu, svo að frá henni vaxa upp nýir einlitna baugþráðungar.

7.10.5 Grænhimnur

Flestar grænhimnur vaxa í söltu vatni. Þær geta verið fáfrumungar, þráðlaga eða þal, sem er eins og blað eða himna. Þeir eru einu grænþörungarnir, þar sem ættliðaskipti koma fyrir meðal nokkurra tegunda og gróin myndast við meiósu. Okfruman verður sjaldnast að dvalafrumu.

Af þráðlaga grænhimnum má nefna skúfa (*Cladophora*), en þeir lifa jafnt í söltu sem ósöltu vatni. Frumurnar eru fjölkjarna og aðskiljast af skilrúmsböndum. Grænkorn í hverri frumu er í útjaðri og er sem netofið með mörgum pýrenoíðum í. Skúfar vaxa í þéttum breiðum, ýmist fastir við steina eða fljóta.



Kynæxlun maríusvuntu.

Ullþörungar (*Ulotrix*) er annar þráðlaga hópur, jafnt í fersku sem söltu vatni. Allar frumur þráðanna líta eins út, eru einlitna, með einu hringlaga grænuhorni, pýrenoíðum og kjarna. Við kynlausu æxlun tekur kjarni í einni frumu að skipta sér mítósu nokkrum sinnum, svo að til verða bifgró með fjórum svipum. Fruman rofnar og bifgróin synda út, taka sér bólfestu á steini og upp vex nýr þráður. Við kynæxlun skiptir einn kjarni sér sem áður en allmiklu oftar. Þá myndast hins vegar kynfrumur, nokkru minni en bifgró, með aðeins tveimur svipum. Kynfrumurnar renna saman við álíkar frumur úr öðrum, óskyldum þráðum, til verður okfruma (tvílitna), sem gengur í gegnum meiósu og upp vaxa nýir þræðir ullþörungar.

Maríusvunta (*Ulva lactuca*) er hins vegar þunn himna, tvö frumulög á þykkt, oft allstór að umfangi, og vex ofarlega í fjörum. Ættliðaskipti eru á þann veg, að gróliður og kynliður eru eins að sjá. Upp af okfrumu vex kynlaust, tvílitna þal (gróliður). Í gróhirslum við jaðar þalsins verður meiósa, sem leiðir til myndunar á einlitna bifgróum með fjórum svipum. Upp af bifgrói vex einlitna þal (kynliður), sem er til að sjá eins og tvílitna þalið. Við nánari skoðum má þó sjá, að frumurnar í einlitna þalinu eru heldur minni en í tvílitna þalinu, en sjálft einlitna þalið er jafnan stórvaxnara en hitt. Við endurteknar mítósuskiptingar á kjörnum frumna hér og hvar í þalinu, verða til kynfrumur (einlitna) með tveimur svipum. Þegar þær losna út í sjó synda þær um og ná ef vel vill til að renna saman við kynfrumur úr öðru þali. Þá myndast okfruma, hún byrjar að vaxa og upp vex nýtt tvílitna þal (kynliður). Renni kynfrumurnar ekki saman við aðrar, geta þær sjálfar tekið að vaxa og orðið að einlitna þali (kynlaus æxlun).

Margir þeirra sjávarþörungar, sem tilheyra grænhimnum einkennast af fjölkjarna frumum, það er eru samfrumungar. Frumurnar hafa orðið til við ítrekaðar kjarnaskiptingar án þess að þverveggir næðu að myndast. Þar af leiðandi eru frumurnar einkar stórar enda eru þær títt notaðar við vissar rannsóknir í líffræði. Ein þekktasta tegundin er »vínglas hafmeyjarinnar«, *Acetabularia acetabulum*. Á vissu þroskastigi er aðeins einn kjarni í öllu þalinu og þá þykir forvitnilegt að rannsaka áhrif hans á starfsemi í umfrymi.

Grænuhorn nokkurra grænhimna hafa orðið innlyksa í frumum lindýra, sem lifa í sjó. Dýrin éta þörungar og grænuhornin setjast að í frumum, sem liggja að tálknunum. Grænuhornin ná að fjölga sér innan frumnanna og við gott ljós framleiða þau næganlegt súrefni fyrir lindýrin.



Kransnál.

7.10.6 Kranspörungar

Kranspörungar saman standa af ættkvíslum einfrumunga, fáfrumunga, þráð- og blöðkukennndum. Bæði hvað varðar gerð þeirra og lífefnafræði er þeim margt sameiginlegt. Meðal annars verður meiósa á okfrumunni, svo að ættliðaskipti eru engin.

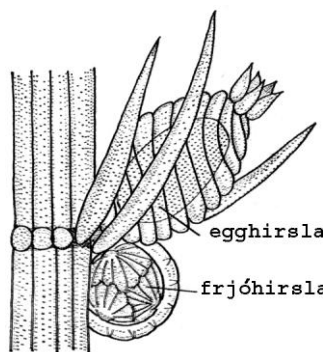
Til kranspörunga teljast okpörungar (Conjugales). Þeir eru annaðhvort einfrumungar (skrautpörungar) eða ógreindir frumuþræðir (vatnasilki). Sérstaða þeirra er meðal annars sú, að hvorki svipur né bifhár þekkjast meðal þeirra.

Æxlun skrautpörunga, einfruma okpörunga, er ýmist kynæxlun eða kynlaus. Að loknum samruna tveggja kjarna myndast þykkur veggur utan um okfrumur og geta þær geymt þannig langan tíma. Þegar okfrumurnar taka að vaxa á ný að lokinni meiósu, þroskast oft aðeins tveir einstaklingar, það er jafnmargir og áður. Kynæxlunin leiðir þess vegna ekki til fjölgunar einstaklinga heldur stuðlar eingöngu að endurröðun erfðaefnis. Fjölgun einstaklinga verður því aðeins með kynlausri æxlun, mítósu.

Vatnasilki er þráðlaga okpörungar og myndar hált og mjúkt slý í grunnum vötnum og er nafnið af því dregið. Gormþráðungar af ættkvísinni *Spirogyra* eru þeirra algengastir. Þeir þekkjast á því, að grænuhornin raða sér í gormlaga belti, eitt eða fleiri, eftir endilangri frumunni. Mjölvi myndast í litlum ögnum, svo nefndum *pýrenoíðum*, sem eru í eða við grænuhornin. Pýrenoíðar eru algengir í þörungum en eru yfirleitt ekki í grænuhornum vefplantna. Kynlaus fjölgun verður annaðhvort við það, að frumur skipta sér mítósu eða þræðirnir detta í sundur. Kynæxlun verður á þann hátt, að brú skapast á milli tveggja frumna, kjarnarnir renna saman og okfruma myndast. Eftir vissan dvalatíma og meiósu vaxa upp nýir þræðir gormpörunga.

Tveir hópar kranspörunga skera sig úr hvað varðar sameiginleg einkenni með vefplöntum. Hvorugur hópurinn er þó beinn forfaðir vefplantna, þeir eru of sérhæfðir til þess. Hins vegar eru líkur miklar á, að vefplöntur séu komnar af útdauðum tegundum, sem stóðu mjög nærri þessum hópum.

Fyrri hópurinn er brúskþráðungar (Coleochaeta-ceae) og vaxa á laufblöðum plantna á kafi í fersku vatni. Flestar tegundir eru örfínir frumuþræðir en á stundum eru þræðirnir vafðir saman og verða að kringlóttum skellum. Kynlaus æxlun fer fram með bifgróum. Kynæxlun fer



Myndin sýnir kynhirslur á kransnál.

fram við eggfrjóvgun og er okfruman varin af frumulagi úr geldþráðum, sem vaxa eftir frjóvgun. Vöxtur lífveranna, það er mítósa, fer fram í endum þráða en á diskklaga eintökum er vaxtarlag út við jaðarinn. Margt í fari og starfsemi burstþráðunga eru greinileg atriði, sem gera lífverur hæfar til þess að lifa á þurru landi.

Hinn hópurinn er kransnalar (Characeae), en það eru mjög sérhæfðar lífverur, sem lifa í fersku eða ísöltu vatni. Kransnalar kjósa sér mjög áþekka vaxtarstaði og vefplöntur og margir halda, að þær tilheyri þeim. Að auki minna kransnalar mjög á elftingar vegna greinakransanna. Hér á landi vaxa þrjár tegundir en í allt munu þær vera um 250 núlifandi. Þar eð kalk safnast í frumuveggi þeirra, varðveitast tegundirnar vel í jarðlögum. Fyrrum voru þær miklu mun fjölskrúðugri. Vöxtur kransnála fer fram í enda stönguls eins og í vefplöntum; stöngullinn skiptist í stöngulliði og liðamót, þar sem greining verður.

Í fjölfruma frjóhirslum, sem oft eru fagurrauðar, verða til skrúfulaga frjófrumur búnar svipum og minna á sáðfrumur mosa. Egghirslur eru einfaldari að gerð; þær eru úr barkfrumum, sem mynda lokað hylki og efst á því er fimmtennt króna. Við þroskun þrútna hirslurnar og leið opnast inn að eggfrumu. Að frjóvgun lokinni inni í hirslunni myndast okfruma. Hún geymist vel yfir veturinn, en þegar meiósa er um garð gengin vex upp aðeins ein ný einlitna kransnál.