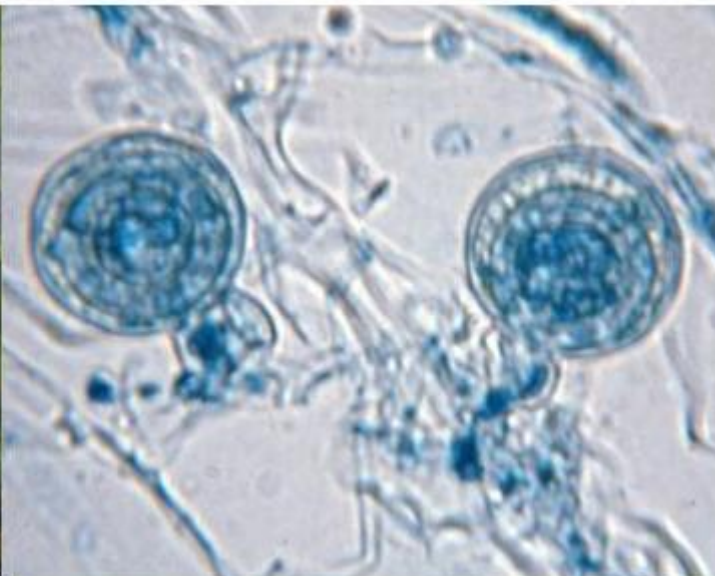


Sienimäiset eliöt ja aidot sienet kasvitaudinaiheuttajina ja kasvien seuralaisina



KPAT402 Sienitaudinaiheuttajat kurssimoniste

Asko Hannukkala, Hilikka Koponen ja Juha Tuomola

Yliopistopaino
Helsinki 2011

Sienimäiset eliöt ja aidot sienet kasvitautinaiheuttajina ja kasvien seuralaisina

Sisällysluettelo

1	Johdanto	2
2	Kurssin tavoitteet, työskentelymenetelmät ja tavoitteiden toteutumisen seuranta	3
3	Perustietoa sienimäisistä eliöistä ja sienistä	3
3.1	Sienimäiset eliöt ja elintarviketuotanto	4
3.2	Sienimäisten eliöiden ja kasvien vuorovaikutus	4
3.3	Rakenneominaisuudet ja elämänkierron vaiheet	5
3.4	Sienimäisten eliöiden tunnistaminen	7
3.5	Fylogeneettinen luokittelu, sukupuut ja nimistö	13
4	Elintarviketuotannon kannalta tärkeät sienet ja sienimäiset eliöt, niiden tunnistaminen ja keskinäiset sukulaissuhteet	17
4.1	Eliökunta: <i>Stramenopila (Chromista)</i> – värekarvalliset levämäiset eliöt	17
4.2	Eliökunta: <i>Rhizaria</i> – juurijalkaiset	25
4.3	Eliökunta: <i>Amoebozoa</i> -ryhmän limasienet	27
4.4	Eliökunta: <i>Fungi</i> – aidot sienet	29
4.4.1	Kaari: <i>Chytridiomycota</i> – piiskasiimaiset, Luokka: <i>Chytridiomycetes</i> , Lahko: <i>Chytridiales</i>	29
4.4.2	Kaari: <i>Zygomycota</i> – yhtymäsienet	31
4.4.3	Kaari: <i>Glomeromycota</i> – arbuskulaarimykoritsat, Lahko <i>Glomales</i>	32
4.4.4	Sukuhaara: <i>Dikarya</i> , Kaari: <i>Ascomycota</i> – kotelosienet	32
4.4.4.1	Alakaari: <i>Taphrinomycotina</i> – paljaskoteloiset	34
4.4.4.2	Alakaari: <i>Saccharomycotina</i> – hiivamaiset kotelosienet	34
4.4.4.3	Alakaari: <i>Pezizomycotina</i> – itiöemiä muodostavat kotelosienet	35
4.4.4.3.1	Luokka: <i>Dothideomycetes</i> – valekotelopulloja tuottavat kotelosienet	36
4.4.4.3.2	Luokka: <i>Eurotiomycetes</i> – kotelorakkoja tuottavat kotelosienet	41
4.4.4.3.3	Luokka: <i>Leotiomycetes</i> – härmät ja kotelomaljaiset sienet	42
4.4.4.3.4	Luokka: <i>Sordariomycetes</i> – aitoja kotelopulloja tuottavat kotelosienet	47
4.4.5	Sukuhaara: <i>Dikarya</i> , Kaari: <i>Basidiomycota</i> – kantasienet	53
4.4.5.1	Alakaari: <i>Agaricomycotina</i>	55
4.4.5.1.1	Luokka: <i>Agaricomycetes</i> – helttasienet ja käävät	55
4.4.5.2	Alakaari: <i>Ustilaginomycotina</i>	57
4.4.5.2.1	Luokka: <i>Ustilaginomycetes</i> – avo- ja lentonoet	58
4.4.5.2.2	Luokka: <i>Exobasidiomycetes</i> – pöhösienet	59
4.4.5.3	Alakaari: <i>Pucciniomycotina</i> – ruostesienet	59
4.4.5.3.1	Luokka: <i>Pucciniomycetes</i>	60
4.4.6	Endofyytit	62
4.4.7	Mykorritsaa (sienijuuria) muodostavat sienet	63
5	Hyvä tietää vanhasta morfologisesta aitojen sienten luokittelusta	63
6	Kasvitautinäytteiden kerääminen	64
7	Suomen yleisimmät kasvitaudit	65
8	Kasvipatologista ja sienitieteellistä sanastoa	73
9	Kurssia tukevaa oppimateriaalia painettuna ja internetissä	77
9.1	Kirjallisuutta	77
9.2	Linkkejä	78

1 Johdanto

Sienet ja sienimäiset eliöt ovat kautta ihmiskunnan historian aiheuttaneet suuria ongelmia elintarviketuotannolle alentamalla sadon määrää ja pilaamalla satotuotteiden laatua. Monet katovuodet ja nälänhädät ovat olleet seurausta sienitautien hallitsemattomasta leviämisestä. Sienten tuottamat homemyrkyt ovat tappaneet kymmeniä miljoonia ihmisiä. Sienitaudit ovat muokanneet myös ihmisten ruokatottumuksia ja sosiaalista käyttäytymistä. Toki sieniä on myös hyödynnetty sellaisenaan ravintona sekä elintarvikkeiden valmistamisessa ja säilömisessä.

Myrkyllisiä alkaloideja erityisesti rukiissa tuottavan torajyvän (*Claviceps purpurea*) ansiosta Eurooppa on jakautunut vaalean ja tumman leivän kulttuureihin. Säälöiltaan torajyvälle edullisilla seuduilla, kuten Ranskassa, ruis jouduttiin korvaamaan vehnällä vakavien torajyvämyrkytysten takia 1500 – 1600 luvuilla. Ranskan vallankumouksen ja ajan noitavainojen on osoitettu saaneen alkunsa torajyvän huumaamien kansanjoukkojen raivosta.

Brittien perinteinen mieltymys teeheen kahvin sijasta johtuu kahvinruosteesta. Kahvista tehtiin 1700 – 1800 luvuilla seurapiirien hittituotetta tuottamalla valtavat määrät kahvipensaan taimia Etelä-Amerikasta Intian ja silloisen Ceylonin siirtokuntiin. Uudessa ympäristössä kahvinruoste tuhosi lyhyessä ajassa kaikki kahvipensaat. Britit pysyivät kuitenkin Imperiumilleen uskollisina ja tyytyivät nauttimaan sitä, mitä omissa siirtomaissa pystyttiin kasvattamaan – siis teetä.

Perunarutto (*Phytophthora infestans*) aiheutti 1840-luvulla yhden Euroopan mittavimmista elintarviketekatastrofeista. Perunasta oli tullut 1800-luvulla köyhän teollisuusväestön ainoa merkittävä ravintokasvi etenkin Irlannissa, mutta myös Manner-Euroopassa. Kun tauti tuhosi Euroopan perunasadot useana perättäisenä vuonna katastrofi oli valmis: miljoonia eurooppalaisia kuoli nälkään kotimaissaan tai laivojen epäinhimillisissä oloissa paetessaan nälänhätää Amerikkaan ja Australiaan.

Perunaruttokatastrofi ja optisten välineiden teknologian kehittyminen 1800-luvun lopulla tekivät mykologiasta ja kasvipatologiasta tärkeitä toisiaan tukevat biologisen tieteen oppialat. 1900 luvulle tultaessa ajan kasvipatologit olivat kuvanneet valtaosan nykyisinkin merkittävistä sienitaukeista. Professorit Karsten ja Liro tekivät valtavan työn Suomessa esiintyvien sienitautien kuvaamiseksi. 1950- ja 1960-luvuilla kasvipatologian professorit Jamalainen ja Pohjakallio ja sittemmin prof Eeva Tapio 1970 – 1980-luvuilla alkoivat kiinnittää huomiota sienitautien epidemiologiaan ja torjuntaan luoden perustan nykyiselle kasvipatologialle ja sen opetukselle.

Kehittyneissä teollisuusmaissa sienitaudit eivät nykyisin aiheuta välitöntä uhkaa elintarviketalouden romahtamiselle, mutta niiden torjunta on suuri kustannustekijä tuotannolle. Ilmastonmuutos lisää kasvinuojelun haasteita ja kasvipatologian osaajille on tulevaisuudessakin kysyntää.

Molekyylibiologisten menetelmien ja bioinformatiikan kehitys on tuottanut runsaasti uusia luotettavia menetelmiä kasvitautien tunnistamiseen ja menetelmät kehittyvät nopeasti. Useimmat tavallisista taudeista voidaan ja on usein pakko tunnistaa viljelyksillä oireiden perusteella. Perinteiset kasvipatologin työkalut, kokemus, luuppi, mikroskooppi ja ravintoalustat ovat monesti nopein ja edullisin tapa päätellä, mistä taudista on kyse ja miten sitä voidaan torjua.

2 Kurssin tavoitteet, työskentelymenetelmät ja tavoitteiden toteutumisen seuranta

Kurssin tavoitteena on oppia maatalouden ja avomaan puutarhatuotannon kannalta taloudellisesti tärkeimpien sienimäisten eliöiden ja sienten aiheuttamien tautien oireet, taudinaiheuttajien perusbiologia ja tautien hallintakeinot. Samalla opetellaan tunnistamaan taudinaiheuttajia niiden mikroskooppisten rakenneominaisuuksien ja kasvutavan perusteella, sekä tutustutaan perus PCR-diagnostiikkaan. Kurssilla painotetaan eri lajien fylogenetistä ryhmittelyä, koska tietyille ryhmälle yhdenkin tyyppillisen lajin ominaisuuksien tunteminen voidaan soveltaa suureen joukkoon lähisukuisia lajeja. Opettelemalla yhden peruslajin elintavat hyvin tunnet käytännössä jopa kymmenien eri tautien biologian perusteet!

Opetus koostuu toisiinsa limittyvistä luennoista ja ohjatuista harjoitustöistä. Lisäksi opiskelijat keräävät kurssin aikana 20 erilaista kasvitautinäytettä ja tunnistavat niistä itsenäisesti (opettajien avustuksella) taudinaiheuttajat. Kurssilla tehtävistä harjoitustöistä (n. 20 kpl) tehdään yksi oppimispäiväkirja/työseloste kunkin tehtävän yhteydessä annetun ohjeen mukaan. Kurssin lopussa järjestetään kirjallinen tentti oppimistulosten mittaamiseksi. Tentti on mahdollista suorittaa/uusia yleisinä tenttipäivinä

Opintokokonaisuus arvioidaan asteikolla 1 – 5. Suoritusmerkinnän opetusjaksosta saa, kun tentti on suoritettu, oppimispäiväkirja/työseloste palautettu ja arvosteltu ja vaaditut 20 kasvitautinäytettä tunnistettu. Tentti ja oppimispäiväkirja/työseloste arvioidaan asteikolla 0 - 20 p, alin hyväksyty pistemäärä on 10 p. Kokonaisarvosanassa kirjallisen tentin painoarvo on 75% ja oppimispäiväkirjan/työselosteen 25%.

KPAT402 kurssin suoritus:

Kirjallinen tentti 75%

Oppimispäiväkirja 25%

20 tautinäytettä kerätty ja tunnistettu hyväksytysti

3 Perustietoa sienimäisistä eliöistä ja sienistä

Sienillä tarkoitettiin alun perin eliöitä, joiden kasvullinen vaihe on säteittäin laajeneva sienirihmasto, rihmastosta erilaistuvat suvulliset ja suvuttomat itiöt ja niitä tuottavat itiöemät.

Aitoja tiedeyhteisön hyväkymiä sienilajeja on noin 80 000 ja uusia nimetään keskimäärin 800 vuodessa. Mahdollisia kuvattuja ja vielä kuvaamattomia lajeja voi olla 1.5 miljoonaa. Työkenttää siis riittää!

Sienet luokiteltiin pitkään kasvukunnan edustajiksi, joilta viherhiukkaset puuttuvat. Tiedon lisääntyessä sienet eriytettiin omaksi eliökunnakseen kasvien ja eläinten rinnalle: *Fungi*, sienet. Tietämyksen edelleen lisääntyessä huomattiin, että kaikki rakenteellisesti sieniltä näyttävät eliöt eivät olekaan geneettisesti

Kasvipatologian kannalta merkittävät sienimäiset eliöt kuuluvat nykykäsitelmän mukaan neljään eliökuntaan:

1. **Stramenopila (Chromista)** – värekarvalliset
2. **Rhizaria** – juurijalkaiset
3. **Amoebozoa** – 'ameebat'
4. **Fungi** – aidot sienet

Huomaa, että sukupuun *Rhizaria*- ja *Amoebozoa*- haarat hakevat vasta muotoaan ja eri lähteistä löytyy hyvinkin erilaisia tässä esitetystä poikkeavia ryhmittelyjä ja ryhmien nimiä

kovin läheisiä sukulaisia keskenään. Niinpä osa varsinaisten sienten eliökunnasta sirrettiin uusiin eliökuntiin *Stramenopila* (*Chromista*), värekarvalliset ja *Protozoa*, alkueläimet. *Protozoa* eliökuntaa on edelleen jaettu useampaan eliökunnan haaraan joista eri lähteissä käytetään hiukan eri nimiä. Uusimmissa lähteissä esimerkiksi *Rhizaria* ja *Amoebozoa* on luokiteltu eliökunniksi, joissakin muissa lähteissä (esim. kuva 3) näiden ryhmien alle syntyineille sukuuun haaraumille on annettu itsenäisen eliökunnan asema

Muutamit kasvipatologisesti tärkeät, alun perin sieniksi luokitellut lajiryhmät, sijoittuvat nykyisessä eliömaailman sukupuussa varsin kaukaisiksi aidoista sienistä. Niiden biologia ja epidemiologia kuitenkin muistuttaa aitoja sieniä siksi paljon, että kasvipatologisessa mielessä ne on mielekästä rinnastaa aitoihin sieniin.

Tällä kurssilla kasvipatogeenit sienet ja sienimäiset eliöt käsitellään kokonaan uusimman fylogeneettisen luokittelun mukaisessa järjestyksessä (kappale 3.5) niin, että keskenään lähisukuisiin lajeihin tutustutaan pääsääntöisesti samalla kurssikerralla. **Useimmissa kasvipatologian oppikirjoissa noudatetaan vielä vanhaa sienten rakenneominaisuuksiin perustuvaa ryhmittelyä, jossa perimältään ja patogeenisiltä ominaisuuksiltaan hyvin läheiset lajit voivat ryhmittyä etäälle toisistaan.** Rakenneominaisuudet ovat edelleenkin tärkeitä yksittäisten taudinaiheuttajien lajituntomerkkejä, mutta uusi fylogeneettinen ryhmittely puutteineen, on soveltavan sienitieteen, kasvipatologian, kannalta ehdottomasti selkeämpi kuin vanha järjestelmä.

3.1 Sienimäiset eliöt ja elintarviketuotanto

Valtaosa sienistä on tärkeitä eloperäisen aineksen lahottajia, kasvien seuralaisina eläviä symbionttisia sieniä, ihmisen viljelemiä hyötymikrobeja kuten hiiva sekä ruokasieniä. Sienet voivat kasvaa hyvin äärevissä oloissa ja ne ovat sopeutuneet monenlaiseen ravintoon. Kasveille tauteja aiheuttavia lajeja on nimetty noin 9 000. Enimmäkseen nämä ovat mikrosieniä, eli mikroskoopin avulla tunnistettavia lajeja. Suomessa kasvintuotantoa merkittävästi haittaavia lajeja on pari sataa, joista 20 – 30 aiheuttaa säännöllisesti suuria taloudellisia tappioita.

Kasvintuhoojat verottavat tälläkin hetkellä FAO:n arvioiden mukaan noin kolmasosan maapallon ravinnontuotannosta. Kasvitautilien osuus hävikistä on noin 10 – 20%. Esimerkiksi USA:ssa vuosittaisten satotappioiden rahallisen arvon on arvioitu vuonna 2005 olleen noin 21 000 miljoonaa US\$ ja lisäksi tautien torjunnasta aiheutui vuottaan 500 miljoonan US\$:n lasku. Taudit vähentävät sadon määrää ja heikentävät sadon laatua kasvukaudella ja varastoissa. Lisäksi homeiden tuottamat myrkyt pilaavat rehujen ja elintarvikkeiden käyttöarvoa.

3.2 Sienimäisten eliöiden ja kasvien vuorovaikutus

Sienten ja kasvien menneisyydessä on erittäin paljon yhteistä evoluutiota (koevoluutiota). Etenkin maakasveista on vaikea löytää sellaisia, jotka eivät olisi jatkuvasti tekemisissä joko patogeenisten tai symbionttisten sienten kanssa. Kasvit ovat vuorovaikutussuhteessa samanaikaisesti erilaisten sienten kanssa. Tautinäytteissä, joista pyritään löytämään varsinainen taudinaiheuttaja, kasvaa aina joukko kasville harmittomia eliöitä. Sienitautien tunnistuksessa on tärkeää pystyä erottamaan tautia aiheuttavat sienet harmittomista ja hyödyllisistä kasvien sieniseuralaisista. Periaatteessa tautinäytteistä löydetty sienet pitäisi tartuttaa terveeseen kasviin, havaita samanlaiset oireet kuin

alkuperäisessä kasvissa ja vielä eristää sama taudinaiheuttaja tartutetusta kasvista (Koch'in postulaatit).

Tämän vuoksi kurssilla esitellään lyhyesti myös maakasvien yleisimpiä hyödyllisiä sieniseuralaisia: sienijuurta muodostavia (mykorritsa), endofyyttisiä ja epifyyttisiä lajeja. Arbuskulaari (kasvien juurisolujen sisällä toimivat) mykorritsasienet auttavat monia viljelykasveja kasveille vaikealiukoisten ravinteiden saannissa. Juurten pinnalla toimivien ektomykoritsasienien ansiosta Suomen metsät kasvavat ja ruokapöydissämme on sieniherkkuja. Myös kasvien maanpäällisissä osissa voi olla endo- ja epifyyttisiä seuralaisia, jotka voivat lisätä tai vähentää varsinaisten patogeenien aiheuttamia haittoja.

Kasvien ja patogeenien välille on kehittynyt monia erilaisia kemiallisia viestintäkeinoja, joilla kasvi tunnistaa hyökkääjän ja patogeeni sopivan isäntäkasvin. Tunnistaessaan uhkaavan vieraan lajin kasvi voi itse tuhota solukkoja, joihin patogeeni yrittää tunkeutua (hypersensitiivisyys- eli yliherkkyysreaktio). Patogeenin tunnistaminen voi käynnistää kasvissa lisäksi monimutkaisia kemiallisia puolustusreaktioita, joilla se pyrkii suojaamaan niitäkin kasvinosia, jotka eivät suoraan altistu patogeenin hyökkäykselle (SAR – Systemic Acquired Resistance).

3.3 Rakenneominaisuudet ja elämänkierron vaiheet

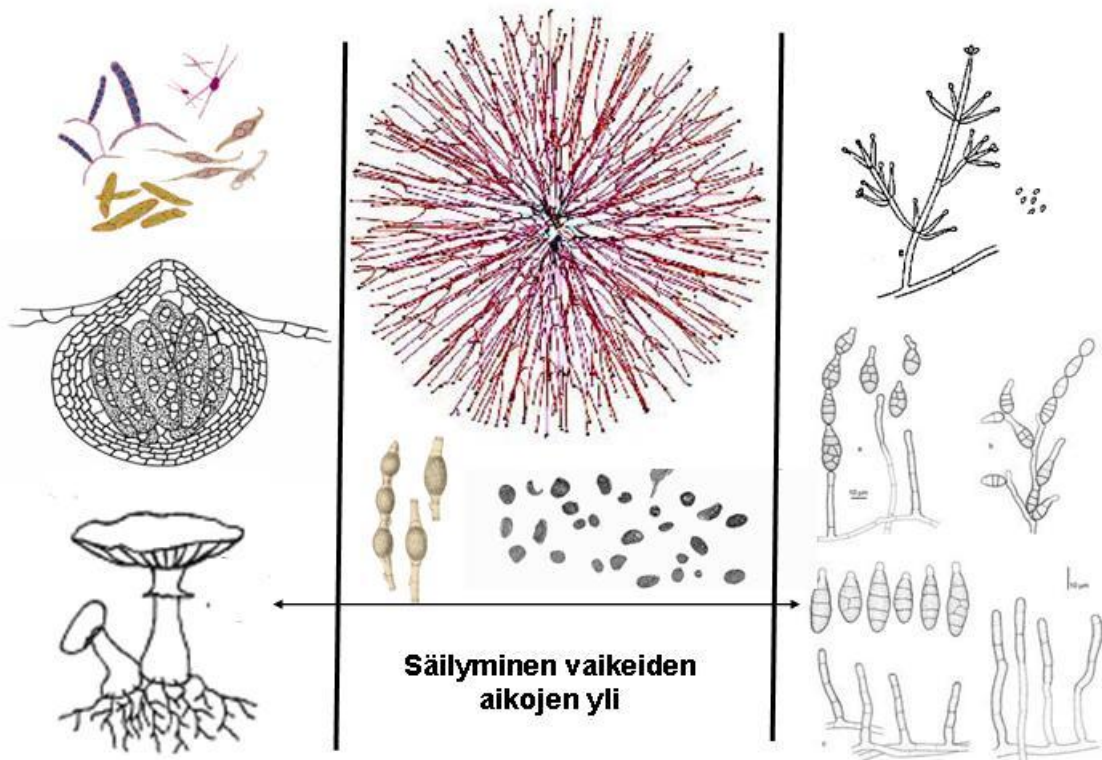
Sienimäiset kasvipatogeenit ovat aitotumallisia toisenvaraisia organismeja, joilla on soluseinä. Niistä suurin osa on monisoluisia, mutta esimerkiksi kotelosienten kaaren hiivat ovat yksisoluisia. Monisoluiset lajit suosivat rihmamaista kasvutapaa. Solun halkaisija on yleensä pienempi kuin kasveilla, mutta suurempi kuin bakteereilla tai arkeilla (noin 3-8 µm).

Sienimäisten eliöiden kasvullinen perusyksikkö on säteittäin laajeneva sienirihmasto. Rihmojen avulla sienet leviävät tehokkaasti kasvualustassa ja tunkeutuvat vaikeidenkin esteiden läpi. Ravinnon saatavuus säätelee sienimäisten, kuten muidenkin eliöiden elämäntapaa. Useimpien lajien vallitseva olomuoto on sienirihmasto, kun ravintoa on tarpeeksi.

Ravinnon ehtyessä sienimäiset eliöt hakeutuvat kohti uusia ravintolähteitä. Kasvullinen sienirihma ei ole erityisen tehokas tapa löytää uutta ravintoa, jos ravinto sijaitsee kaukana alkuperäisestä kasvupaikasta. Niinpä miltei kaikki lajit tuottavat itiöitä, jotka voivat kulkeutua ilmassa tai vedessä paikasta toiseen. Tehokkaimmat lajit voivat levittää itiöitä jopa tuhansien kilometrien säteellä.

Itiöt leviävät useimmiten passiivisesti ilma- tai vesivirtausten mukana, mutta muutamilla lajeilla on siimahäntäisiä parveiluitiöitä, jotka aktiivisesti hakeutuvat uusiin ravintolähteisiin. Itiöt voivat erilaistua suvuttomasti suoraan sienirihmastosta sekä suvullisen tai suvuttoman lisääntymisen eri vaiheissa muodostuvista itiöemistä.

Kasvipatogeeneille ei ole välttämättä tarjolla sopivaa ravintoa ympärivuotisesti. Osa lajeista muodostaa toiminnallisesti kasvien siemeniä muistuttavia lepoasteita, jotka takaavat lajin säilymisen vaikeiden aikojen yli. Lepoasteet saattavat säilyä tartutuskykyisinä jopa kymmeniä vuosia. Tietyt lajit, kuten ruostesienet ovat ratkaisseet ongelman vaihtamalla isäntäkasvia vuodenaikojen mukaan.

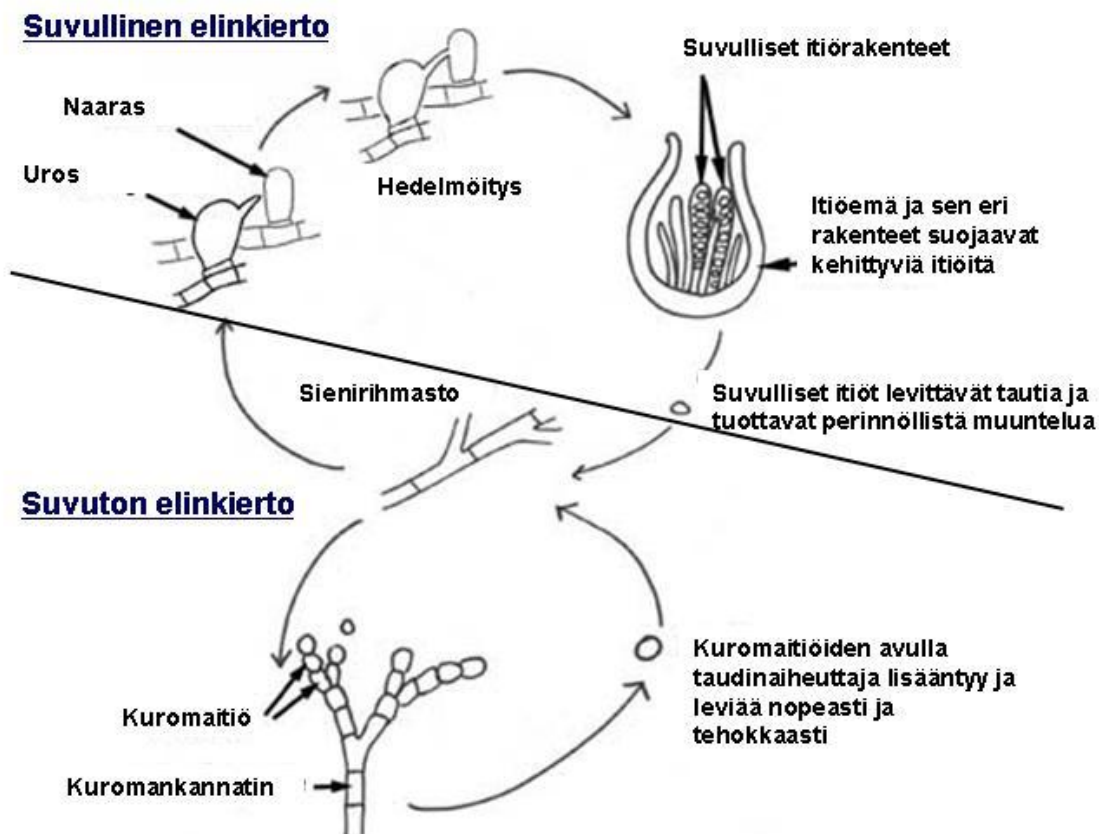
Suvullinen lisääntyminen**Kasvullinen lisääntyminen****Suvuton lisääntyminen**

Kuva 1. Sienimäisten eliöiden perusyksikkö kasvullinen rihmasto, joka ravinnon saatavuuden mukaan tuottaa suvuttomia tai suvullisia itiöitä tai kestoasteita. Suvulliset ja suvuttomat itiöt voivat myös olla tietyillä lajeilla kestoasteita.

Kaikilla kasvipatogeenisillä sienillä ja sienimäisillä eliöillä on isäntäkasvin kasvurytmiin sopeutunut elinkierto, jossa kasvulliset, suvuttomat, suvulliset ja säilymisvaiheet vuorottelevat hyvin tarkoituksenmukaisesti. Yksi kasvipatologian peruspilari on eri taudinaiheuttajien elinkierron vaiheiden tunteminen. Kasvitautilien epidemiologiaa, viljelytekniisiä, biologisia tai kemiallisia hallintakeinoja on mahdoton ymmärtää, ellei tunne taudinaiheuttajan elinkiertoa ja siihen vaikuttavia ympäristökijöitä.

Suvuttomassa elinkierrossa sienten rihmaston solut monistuvat perimältään samanlaisiksi yksiköiksi. Tosin sienisolujen monistuessa tapahtuu helposti kopiointivirheitä ja somaattinen muuntelu on paljon suurempaa kuin kasveilla. Aidoilla sienillä on tyypillisesti suvuton kaksitumavaihe, dikaryoosi. Suvuttomat kuromaitiöt (konidio) syntyvät useimmiten niitä tuottamaan erikoistuneissa kuromankannattimissa, joiden rakenne oli tärkeä ominaisuus, kun sienten luokittelu ja nimistö perustui pelkästään rakenneominaisuuksiin.

Suvuttomia kuromaitiöitä voi kehittyä valtavia määriä koko kasvukauden ajan ja monien tautien räjähdysmäinen leviämiskyky perustuu runsaaseen ja nopeaan kuromaitiöiden tuotantoon.



Kuva 2. Sienimäisten eliöiden elämänsykliä ymmärtäminen on kasvipatologioiden asiantuntemuksen tärkeimpiä perusasioita. Miltei kaikilla sienillä on suvuton elinkierto, joka takaa taudinaiheuttajan nopean leviämisen. Suvullinen elinkierto tuottaa perinnöllistä muuntelua ja auttaa monia lajeja säilymään isäntäkasvittomien vuodenaikojen yli.

Suvullisen lisääntymisen pääasiallinen tarkoitus on tuottaa jälkeläistöön perinnöllistä muuntelua. Useimmilla sienillä suvullinen elinkierto toteutuu kerran vuodessa tai harvemmin. On myös paljon lajeja, joiden suvullista elinkiertoa ei tunneta lainkaan. Suvullinen lisääntyminen tapahtuu monilla lajeilla suvuttoman kaksitumaisen rihmaston muodostamien itiöemien suojassa

3.4 Sienimäisten eliöiden tunnistaminen

Sienitaudit voidaan tunnistaa oireiden perusteella ja varmistaa tutkimalla mikroskooppilla oireissa kasvavien patogeenien rakenneominaisuuksia. Oireilevissa kasveissa ei useinkaan näy itse taudinaiheuttajaa. Monet taudinaiheuttajat saadaan helposti tuottamaan mikroskooppilla tunnistettavia rakenteita, kun sairas kasvi tai kasvinosa laitetaan muutamaksi päiväksi sopivan kosteisiin ja lämpimiin oloihin. Usein on välttämätöntä kasvattaa ja eristää tunnistettava taudinaiheuttaja puhtasviljelmäksi ravintoalustalle. Tällöin voidaan tarkkailla mikroskooppisten rakenteiden lisäksi sienen kasvunopeutta, kasvutapaa

Kasvipatologisissa töissä yleisiä ravintoalustoja:

- 1 **Vesiagar** (WA) ei sisällä ravinteita. Se soveltuu hyvin meheviin kasvinäytteisiin (peruna, juurekset, hedelmät), joiden pinnalle sienen toivotaan kasvavan
- 2 **Maissiagar** (CMA) koostuu maissijauhosta ja sokereista. Se soveltuu monien sienten alkukasvatukseen. Sienet eivät kasva liian rehevinä ja ne on helppo eristää runsasravinteisimmille alustoille
- 3 **Perunadekstroosiagar** (PDA) koostuu perunamuusista ja dekstroosista. Se soveltuu parhaiten sienten puhtasviljelyyn. Sieniä eristettäessä hidaskasvuiset sienet voivat iäädä muiden ialkoihin

ja erilaisia ravintoalustaan muodostuvia väriaineita.

Ravintoalustana sienikasvatuksissa käytetään yleisimmin Petri-maljalle valettua agarhyttelöä, johon on lisätty sienten tarvitsemia ravintoaineita. Agarhyttelöön voidaan lisätä ravintoaineet puhtaina kemiallisina yhdisteinä, jolloin alustan täsmällinen koostumus tunnetaan. Kasvipatologit käyttävät usein erilaisista kasviuutteista ja sokereista valmistettuja ravintoalustoja, joihin tulee varsinaisten ravintoaineiden lisäksi sienten kasvua parantavia kasviperäisiä yhdisteitä. Ravintoalustat voidaan valmistaa aidoista kasvikunnan tuotteista, mutta useimmat laboratoriot käyttävät valmiita agartiivisteitä, joihin valmistusvaiheessa lisätään vain vesi.

3.4.1 Eristäminen ja puhdasviljely

Suora eristys: Mikäli sairaan kasvin pinnalla näkyy pintavalomikroskoopilla taudinaiheuttajan kuromaitiöitä tai sienirihmastoja, voidaan näitä siirtää suoraan ravintoalustalle. Jos itiöitä tai sienirihmastoja ei ole, voidaan tutkittavaa kasvia tai kasvinosaa pitää sienelle suotuisissa olosuhteissa (lämpötila, kosteus) muutamia päiviä.

Suora eristys tehdään pääpiirtein näin:

1. Pintavalomikroskoopin avulla etsitään siirrostettava kohde
2. Steriloidulla siirrostusneulalla pyydystetään kuromaitiöitä tai rihmastoja
3. Sieni siirretään aseptisesti ravintolustalle

Suorassa viljelyssä pala sairasta kasvisolukkoa siirretään steriilille ravintoalustalle. Kasvinosista kasvuun lähteneistä sienirihmoista tehdään jatkokasvatuksia uudelle ravintoalustalle puhdasviljelmäksi. Paras tulos saadaan, kun näytepala leikataan terveeseen ja sairaan solukon rajapinnasta, jossa patogeeni on elinvoimaisimmillaan. Suorassa viljelyssä on tutkittava kasvinosa aina pintasteriloitava tai käytettävä tehokkaita valikoivia ravintoalustoja. Muussa tapauksessa kasvinosasta lähtee runsaasti saprofyttisiä, nopeakasvuisia sieniä eikä tutkittavaa sientä saada esille.

Suora viljely tehdään pääpiirtein näin:

1. Sairas kasvisolukon kappale pintasteriloidaan
2. Pintasteriloitu näyte siirrostetaan aseptisesti sopivalle ravintoalustalle
3. Tutkitaan pintavalomikroskoopilla näytteeseen tai ravintoalustaan muodostuvia rakenteita parin viikon ajan
4. Tunnistetaan sieni tai eristetään edelleen puhdasviljelmäksi

Patogeeni voidaan pyydystää näytteistä elävien **syöttikasvien** avulla. Syöttikasvia käytetään esimerkiksi silloin, kun tutkittava kasvinosa on niin pilaantunut, ettei suora viljely tai suora eristys sovellu. Menetelmää käytetään myös patogeenien eristämiseen mullasta. Maa-aines sisältää yleensä niin paljon erilaisia eliöitä, ettei kasvipatogeeniä voida eristää mullasta uoraan ravintoalustalle. Syöttikasveina voidaan käyttää eläviä kasveja, siemeniä, hedelmiä ja erilaisia kasvinosia.

Harjoitus 1: Sienten viljely laboratoriossa ja tunnistaminen mikroskoopilla

Erillinen työohje - tavoite harjoitella viljelymenetelmiä ja mikroskoopin käyttöä ja tuottaa oppimateriaalia seuraaviin harjoitustöihin

3.4.2 Mikroskopointi

Käytössäsi on **pintavalo- I. stereomikroskooppi** (suurennos n. 10 - 500x) sekä **läpivalo-mikroskooppi** (suurennot 100 - 1000x). Opettele alusta alkaen käyttämään molempia mikroskooppityyppejä apuna työskentelyssäsi. **Jos mikroskooppien tarkennus-mekanismeissa tai suurennoksen valintamekanismeissa on teknisiä ongelmia, älä käytä voimaa, vaan kysy AINA neuvoa kurssinohjaajilta!!!!**

Kasvitaubinäytteen tutkiminen aloitetaan **AINA pintavalomikroskoopilla**. Mikroskoopin ominaisuudet ovat parhaimmillaan pienillä (alle 200x) suurennoksilla. Pintavalomikroskoopin avulla näet, onko kasvinäytteessä taudinaiheuttaja, toisin sanoen kannattako näytteestä tehdä preparaatti läpivalomikroskopointia varten. Lisäksi voit todeta taudinaiheuttajan kasvutavan, usein kuromien olemassaolon ja saat käsityksen taudinaiheuttajan ulkoasusta, joka on usein erittäin hyvä tuntomerkki tunnistaessasi taudinaiheuttajaa. Tiettyjen taudinaiheuttajien kuromat ovat niin suuria ja selkeitä, että käytännössä pintavalomikroskooppi yksinään riittää niiden tunnistamiseen.

Läpivalomikroskoopilla tutkitaan sienten rakenteiden yksityiskohtia lasilevyllä (objektilasi) nestepisaraan tehdyistä näytteestä, joka peitetään ohuella peitinlasilla. Peitinlasi vaikuttaa näytteen optisiin ominaisuuksiin ja suojaa mikroskoopin herkästi vaurioituvia linsejä. **Näytettä ei missään olosuhteissa saa tarkastella ilman peitinlasia.**

Käytön kannalta mikroskoopin tärkein työkalu on **objektiivien** valikoima. Kurssimikroskoopeissa on 3 – 4 objektiivia, joiden suurennos voi vaihdella 6 x – 100 x. Mikroskoopin 'käyttöliittymä' on **okulaari**, kiikari jolla objektiivin tuottamaa peilikuvaa tarkasteltavasta kohteesta katsotaan. Jos objektiivin suurennos on 10 x ja okulaarin suurennos 10 x katsot 100 x suurennosta tutkittavasta näytteestä. Jos kurssimikroskoopissa on 100x objektiivi, älä käytä sitä!

Kun aloitat työskentelyn SÄÄDÄ:

1. **Okulaarien välimatka** omien silmäteriesi välin mukaiseksi. Välimatka on sopiva, kun molempien okulaarien muodostamat kuvat yhtyvät.
2. **Valovoima** sellaiseksi ettei okulaareista tuleva valo häikäise silmiäsi
3. **Okulaarien syvyys** silmiäsi mukaiseksi. Tavallisesti toinen okulaari on kiinteä ja toisen syvyys on säädettävissä. Etsi näytteestä näkökentän keskivaiheilta jokin helposti tunnistettava yksityiskohta ja tarkenna yksityiskohta tarkennuksen hienosäädöllä siten, että näet valitsemasi yksityiskohdan mahdollisimman terävänä. Kierrä säädettävän okulaarin säätöä siten, että näet valitsemasi yksityiskohdan terävänä myöskin säädettävän okulaarin kautta. Mikäli käytät toistuvasti samaa mikroskooppia, merkitse muistiin säädettävän okulaarin asteikon lukemat, jolloin voit aina työskentelyn aloittaessasi säätää okulaarien svvvvden oikeaksi.

Työskennellessäsi mikroskoopilla:

1. Opettele käyttämään **näytepöydän siirtolaitteita** tarkoituksenmukaisesti. Muista, että näet peilikuvan tutkittavasta kohteesta. Kun etsit preparaattista tutkittavaa kohdetta, etene johdonmukaisesti ja aloita etsintä aina pienimmällä objektiivilla.
2. Opettele käyttämään tarkennuksen **karkea- ja hienosäätöä**. Karkeasäädöllä löydät tutkittavan kohteen, mutta tarkenna aina hienosäädöllä. Ole erityisen varovainen käyttäessäsi yli 40 x suurentavia objektiiveja.
3. Opettele käyttämään **objektiivirevolveria** oikein. Aloita aina kohteen tarkastelu pienimmällä suurennoksella. Etsi tutkittava kohde preparaattista ja tarkenna karkeasäädöllä. Tarkennuksen jälkeen voit valita haluamasi objektiivin ja tarkentaa kohteen hienosäädöllä. **ÄLÄ KÄYTÄ KARKEASÄÄTÖÄ MUILLA KUIN 10 x OBJEKTIIVILLA.**

Lopettaessasi mikroskooppityöskentelyn:

1. Huolehdi että **objektiivit ovat puhtaat**. Mikäli olet liannut objektiivin kemikaaleilla, ilmoita heti kurssin ohjaajalle. Objektiivi on helposti puhdistettavissa, kun kemikaalit ovat tuoreita. Jos ne pääsevät kuivumaan, puhdistus on hankalaa ja objektiivi voi mennä täysin käyttökeltottomaksi.
2. **Muista sammuttaa mikroskoopin valo.**
3. **Peitä mikroskooppi** muovihupulla, jotta okulaarit ja kondensorilinsit eivät pölytyisi.

Läpivalomikroskoopin tärkein käyttöohje on: **Säädä okulaarin linssien etäisyys omien silmiesi mukaiseksi ja aloita aina näytteen tutkiminen suurennokseltaan mikroskoopin pienimmällä objektiivilla.** Tällöin löydät näytteestä optisen tason, jossa tutkittava kohde on, et riko näytettä etkä mikroskooppia. Jos objektiivi syystä tai toisesta joutuu kosketuksiin näytteen tai preparointinesteiden kanssa, ilmoita ohjaajille. Objektiivi on helppo puhdistaa tuoreeltaan, mutta hyvin työlästä, jos lika pääsee kuivumaan.

Nykyisissä mikroskoopeissa on paljon valon voimakkuuden ja taittumisen säätöön liittyviä ominaisuuksia, jotka vaikuttavat siihen, miltä tutkittava kohde näyttää. Säädä valotehoa kulloisenkin näytteen mukaan. Muilta osin kurssimikroskoopit on kalibroitu ja optimoitu tämän kurssin näytteiden tutkimiseen. Älä lähde itse muuttamaan näitä säätöjä, vaan pyydä aina apua kurssinvetäjiltä, jos laitteet eivät toimi, kuten pitäisi.

3.4.3 Preparaatin valmistaminen

Tavallinen mikroskooppipreparaatti:

Tavallinen mikroskooppipreparaatti valmistetaan siten, että steriloidun (liekitetyn) preparointineulan kärkeen kerätään stereomikroskoopin alla näytettä, esim. sienikasvustoa, joka siirretään objektilasille pieneen nestepisaraan. Toisella neulalla avustetaan rihmaston irtoamista neulasta ja se levitetään ohueksi kerrokseksi objektilasille. Preparaatti suljetaan peitinlasilla siten, että toinen reuna lasketaan ensin pisaran päälle ja toinen reuna varovasti sen jälkeen, jotta ilmakuplat poistuisivat toisesta reunasta. Preparointineulalla varovasti peitinlasia koputtaen saadaan isoimmat ilmakuplat pois. Preparaattia varovasti kuumentamalla poistuvat jäljellä olevat ilmakuplat. Jos sulkunesteenä käytetään Shear'in nestettä tai vettä, preparaattia ei voi kuumentaa. Sen sijaan maitohappo kestää kuumennusta. Jos preparaattia kuumennetaan liikaa, peitinlasi voi lentää pois, tai sienirihmasto siirtyy peitinlasin alla toiseen reunaan. Lopuksi siistitään peitinlasin reunat huokoisella paperilla.

A. Pigmenttejä sisältävät patogeenit (sienirihmoissa tai itiöissä väriaineita)

- pisara maitohappoa objektilasille
- siirretään piikillä tutkittavaa kasvustoa pisaraan
- hajotetaan näyte piikillä pisaraan
- peitinlasi päälle
- kuumennus → ilman poisto sienirihmojen ja itiöiden joukosta
→ turvottaa kuivat sienet normaalin näköisiksi
- naputtelu → liika neste peitinlasin reunoille
→ näyte ohueksi
- preparaatista poistetaan liika neste (imu-)paperin palalla
→ preparaatista tulee mahdollisimman ohut

B. Värottömät patogeenit (esim. härmäsienet)

- värjäys → maitohappo + väriaine samaan pisaraan
- kasvusta raaputettu näyte levitetään piikillä nestepisaraan
- peitinlasi päälle
- kuumennus

- naputtelu → kotelopullojen, -rakkojen, kuromapullojen aukaisu
- peitinlasin reunojen kuivaus paperilla

Leikepreparaatti:

Leikepreparaatti kannattaa tehdä silloin, kun taudinaiheuttaja on kasvinäytteen sisällä, tai kun halutaan tutkia itiöemän sisärakennetta.

Leikepreparaatin valmistus:

- partakoneen terällä (preparointiveitsellä) useita mahdollisimman ohuita leikkeitä (apuna voi käyttää stereomikroskooppia). Käytännössä käsivaraisesti tehdyt leikkeet ovat aina liian paksuja, mutta aivan leikkeen reunassa voi joskus olla tarpeeksi ohuita kohtia.
- preparoimisnesteeseen kostutetulla piikillä kerätään ohuet leikkeet nestepisaraan
- peitinlasi päälle
- kuumennus
- peitinlasin reunojen siistiminen

Teippipreparaatti:

Teippipreparaatti soveltuu niukasti sienirihmastoja muodostavien sienten tai kuromia tuottavien solujen tutkimiseen. Sillä voidaan myös tarkastella, miten kuromat kiinnittyvät kuromia muodostavaan soluun (fialidi, annelidi = annelofori).

Teippipreparaatin valmistus:

Pieni pala (n. 0.5 x 0.5 mm) teippiä painetaan homekasvuston reunan päälle pinsettien avulla. Tämän jälkeen teippipala siirretään (liimapuoli alas- tai ylöspäin) Shear'in nestepisaraan. Teipin yläpuolelle laitetaan toinen pisara nestettä ja sen päälle peitinlasi. Jos nestettä pursuaa peitinlasin reunoilta, ylimääräinen neste poistetaan huokoisella paperilla.

Mikroskooppipreparaatin valmistuksessa käytetään seuraavia sulkunesteitä

Vesi Vedessä sienen rihmaston ja itiöiden väri, muoto, koko ja solun sisältö näkyvät parhaiten. Veteen voidaan lisätä pintajännitystä alentavaa ainetta, esim. valokuvien kehityksessä käytettävää kostutusainetta. Tällöin ilmakuplia ei jää kovin paljon rihmaston ja itiöiden joukkoon. Huonona puolena vedessä on sen nopea kuivuminen. Vesipreparaatit ovat helppoja ja tahraamattomia, mutta täysin kertakäyttöisiä. Maitohappo tai Shear'in neste ovat hyviä valintoja, jos haluat tarkastella näytteitä vielä seuraavilla kurssikerroilla.

Laktofenolia on aiemmin suositeltu esim. kestopreparaattien valmistamiseen. Yhdiste on hyvin myrkyllinen, eikä sitä enää käytetä kurssitöissä.

Maitohappo

Maitohappoa voidaan käyttää sellaisenaan tai siihen voidaan lisätä väriainetta, esim. puuvillasineä (Cotton blue 0,1 g / 100 ml maitohappoa). Neste soveltuu kestopreparaattien valmistukseen. Maitohapossa itiöiden ryppyyn meno voidaan estää kuumentamalla preparaatti. Ilman väriainetta neste soveltuu väriä sisältävien sienirihmojen ja itiöiden preparoimisnesteeksi.

Shear'in neste

Tämä monikäyttöinen preparaationeste soveltuu mm. kestopreparaattien (säilytys noin kaksi viikkoa) valmistukseen. Preparaattia ei saa missään oloissa kuumentaa, koska etanoli haihtuu tai voi syttyä palamaan.

kaliumasetaattia	3 g
tislattua vettä	150 ml
glyserolia	60 ml
etanolia (95 %)	90 ml

3.4.4 Modernin kasvipatologian tunnistusmenetelmät

Sienten **morfologinen lajimääritys** perustuu puhtaasti sienten rakenneominaisuuksiin. Yksilöt ryhmitellään havaittujen yhtäläisyyksien ja erojen perusteella lajeiksi. Useimpien sienilajien taksonominen asema on nykypäiviin asti määräytyneet morfologisiin perusteisiin. Rakenteelliset ominaisuudet ovat hyvä luokitteluperuste, kun tarkastellaan selvästi näkyviä rakenteita. Ongelmia alkaa tulla, jos perusteina käytetään sienten hienorakenteita, joiden erottuminen riippuu mikroskoopin tarkkuudesta.

Nykyisin valmiita verraten nopeita ja helppokäyttöisiä **vasta-aineisiin** perustuvia kaupallisia diagnostiikkapaketteja on saatavissa monien sienitautien tunnistamiseen. ELISA-kololevylle tai vastaavalle kiinnitetyt vasta-aineet tunnistavat esim. sienisolujen proteiineja esim. pintarakenteista. Jos tunnistettavassa näytteessä on tutkittavaa patogeeniä, sen olemassaolo voidaan osoittaa erilaisilla värjäysmenetelmillä. Vasta-ainetestit ovat erinomainen työkalu seulottaessa suuresta näytemäärästä yhden tai muutaman taudinaiheuttajan esiintymistä ja niitä käytetään paljon kasvien rutiiniterveystarkastuksissa. Vasta-ainetestit eivät sovellu näytteisiin, joista ei etukäteen tiedetä täsmälleen, mitä taudinaiheuttajaa halutaan tunnistaa. Tiettyynajaan asti vasta-aineet tunnistavat myös oireettomia tartuntoja.

Enenevässä määrin lajinmäärityksessä käytetään apuna **molekyylibiologisia** tekniikoita, jotka tunnistavat patogeenien DNA:ssa ilmeneviä eroja. Tarkasteltavasta DNA-alueesta riippuen näiden tekniikoiden avulla voidaan selvittää joko lajien välisiä tai lajinsisäisiä (esim. rotujen välisiä) eroja. Sienten ribosomaalisen DNA:n (esim. 18S) geenien eroja on käytetty fylogeneettisiä sukulaisuussuhteita selvittäessä, sillä rDNA:n geenit ovat muuttuneet verrattain vähän ajan saatossa. Sensijaan rDNA:n geenien väliset alueet (n.k. ITS-alueet, Internal Transcribed Spacer Region) muuttuvat nopeammin, minkä vuoksi niistä voidaan löytää eroja myös saman suvun eri lajien välillä. Tämän vuoksi ITS-alueita onkin käytetty paljon lajinmäärityksessä.

Eri lajien DNA:n emäsjärjestyksen eroja voidaan hyödyntää kasvipatogeenisten sienten rutiininomaisessa tunnistamisessa. Nykyisten **polymeraasiketjureaktioon (PCR)** perustuvien DNA:n monistustekniikoiden avulla voidaan nopeuttaa taudinaiheuttajan määrittämiseen kuluva aikaa ja todeta mm. piileviä infektioita. Tällaiset menetelmät ovat käytössä mm. kasvintarkastuksessa. Perus PCR-menetelmien soveltamisessa on samoja rajoituksia kuin vasta-ainetekniikoissa: täytyy tietää etukäteen, mitä lajia tai lajeja haetaan. Nopean kehitystyön kohteena ovat erilaiset mikro- ja makroarray-tekniikat, jolla yhdestä kasvinäytteestä voidaan samanaikaisesti tunnistaa kymmeniä, tulevaisuudessa ehkäpä satoja eri taudinaiheuttajia.

3.5 Fylogeneettinen luokittelu, sukupuut ja nimistö

Nykyinen eliökunnan luokittelujärjestelmä perustuu fylogeneettiseen systematiikkaan. Tavoitteena on luokitella eliökunta **monofyleettisiin ryhmiin** (= ryhmän kaikki eliöt ovat peräisin samasta kantamuodosta) ja kehittää hierarkkinen järjestelmä, joka heijastelee todellisia lajien sukulaisuussuhteita. Periaatteena on sijoittaa perimältään lähisukuiset eliöt lähelle toisiaan eliömaailman sukupuussa.

Uudet molekyylibiologian ja bioinformatiikan menetelmät, joilla voidaan avata eliöiden DNA:n ja RNA:n sisältämä koodi ja verrata samanaikaisesti monien eliöryhmien elämää säätelevien perintötekijöiden sekvenssitietoa, ovat tehneet mahdolliseksi erilaisten eliöiden todellisten sukulaisuussuhteiden selvittämisen. Lisäksi on löydetty uusia eläviä ja fossiilisia lajeja, jotka täyttävät aukkoja lajien kehityshistorian tuntemuksessa.

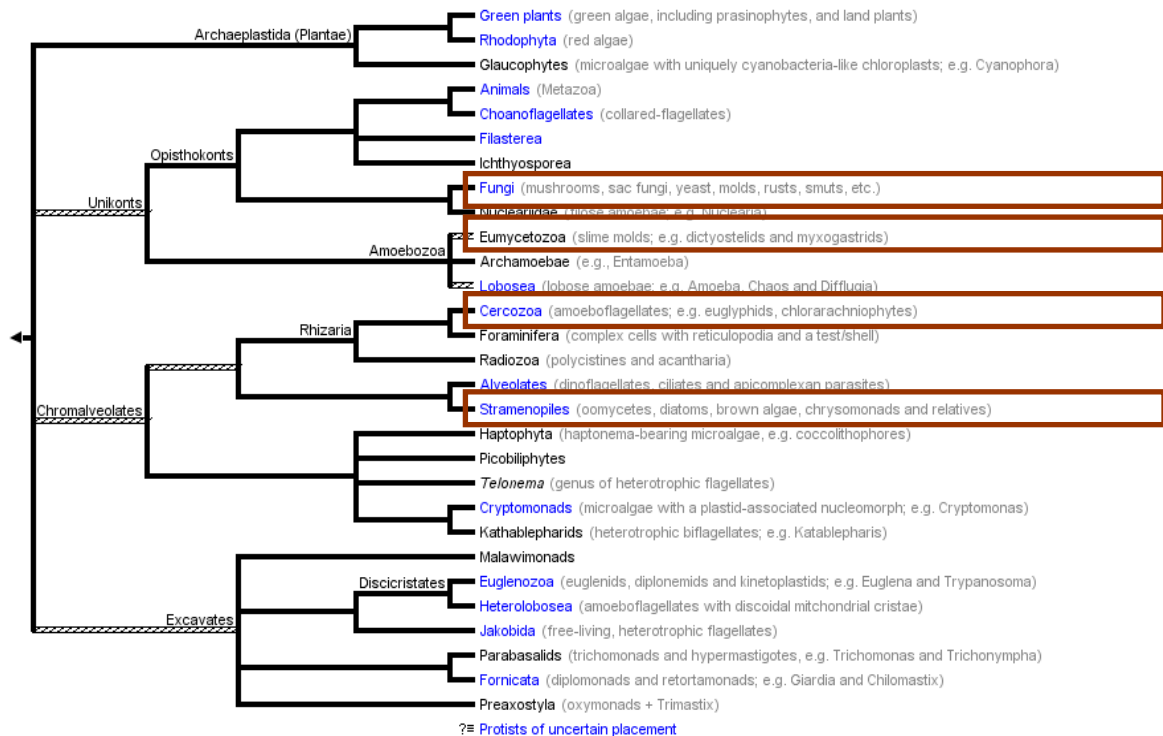
Tämänhetkinen eliöiden luokittelu pohjautuu vielä varsin rajalliseen määrään tietoa eliöiden genomien tiettyjen osasten emäsjärjestyksestä. Vasta muutaman sienimäisen eliön koko perimä on sekvensoitu. Tällä alalla tutkimusmenetelmät kehittyvät lähes räjähdysmäisen nopeasti ja on oletettavaa, että lähitulevaisuudessa useimmat lajit tulevat löytämään todellisen paikkansa eliökunnan sukupuussa.

Tällä kurssilla kasvitauteja aiheuttavat sienimäiset eliöt on luokiteltu kokonaan uuden fylogeneettisen ryhmittelyn mukaiseen järjestykseen. Vanha morfologinen luokittelu varmaan näkyy vielä opetuksessa ja pitkään etenkin kirjallisissa ja internetin oppimateriaaleissa.

3.5.1 Sienimäisten eliöiden pääryhmittely

Eliökunta jaetaan kahteen pääryhmään *Procaryota* ja *Eukaryota*. Kaikki sienimäiset eliöt kuuluvat aitotumaisiin eli *Eucaryota*-ryhmään. Eliökunnan sukupuussa nämä jakautuvat moniin monofyleettisiin haaroihin, joiden hierarkkinen asema on vielä osittain epäselvä. Eliökunnan taksonominen perusyksikkö, josta tutkijat ovat melko yksimielisiä, on eliökunta (kingdom), esimerkiksi kasvikunta, sienikunta, eläinkunta. Eliömaailman eri kuntien keskinäinen sijainti elämän sukupuussa hakee vielä paikkaansa. Vanha hierarkkinen eliökunnan sukupuuo olettaa, että taksonomiset yksiköt (sukupuun haarat) ovat yhtä etäällä toisistaan, mutta fylogeneettisen sukupuun eri haaroissa voi nykyisin olla hyvin erilaisia hierarkian tasoja.

Sienimäiset kasvipatogeenit ryhmittyvät tällä hetkellä (elokuu 2011) neljään eri eliökuntaan: *Stramenopila* (= *Chromista*), *Rhizaria*: *Cercozoa*, *Amebozoa*: *Eumycetozoa* ja *Fungi*. Tämä ryhmittely on sangen uusi ja poikkeaa oppikirjojen ja monien muiden painotuotteiden ryhmittelystä. Ennen 1995 julkaistuissa oppimateriaaleissa kaikki neljän eri eliökunnan edustajaa useimmiten kuvataan osana sienikuntaa, *Fungi*. Uudemmissa teoksissa sienimäiset kasvipatogeenit jaotellaan kolmeen eliökuntaan: *Chromista* (nykyisin *Stramenopila*), *Protozoa* ja *Fungi*. Nämä erilaiset luokittelut saattavat aluksi tuntua hämmentäviltä ja turhiltakin, mutta toivottavasti auttavat ymmärtämään, miksi tiettyä taudinaiheuttajaa koskeva tieto voi löytyä eri lähteistä hieman eri kohdista, vaikka itse eliöt eivät ole muuttuneet millään tapaa.



Kuva 3. Kasvitauteja aiheuttavia eliöitä on neljässä eliökunnassa: *Stramenopila*, *Cercozoa*, *Eumycetozoa* ja *Fungi*

Tällä kurssilla kasvipatogeeniset sienet ja sienimäiset eliölajit on haluttu kiinnittää arkipäivän kasvipatologiaa tukevaan viiteen taksonomiseen yksikköön "eliökunta" ja "kaari", "luokka", "lahko" ja "laji". Tenteissä edellytetään, että opiskelija osaa sijoittaa tietyn lajin oikeaan eliökuntaan, kaareen ja luokkaan. Taudinaiheuttajan ryhmittäminen oikeaan lahkoon auttaa hahmottamaan mm. lähisukuisten ryhmien epidemiologisia piirteitä. Saman lahkoon eri lajien elinkierrot ovat yleensä miltei identtisiä.

3.5.2 Taksonomiset yksiköt lajitasolle

Vanhan hierarkkisen taksonomian ja nykyisen fylogeneettisen sukupuun taksonomiset yksiköt, eli luokittelun eri tasot on hiukan vaikea sovittaa yhteen. Kasvipatogeenien nykyisen ryhmittelyn ja syvemmän ymmärryksen kannalta tämä ei ole oleellisin asia, mutta on hyvä tietää joitakin periaatteita myös vanhasta luokittelusta.

Taulukko 1. Vanhan hierarkkisen eliökunnan luokittelun keskeiset taksonomiset yksiköt eri kielillä. Latinankielinen päätte on yhä hyvä osata kaaren, luokan ja lahkoon tasolla.

<i>suomi</i>	<i>ruotsi</i>	<i>englanti</i>	<i>saksa</i>	<i>pääte</i>
kaari	division	phylum, division	Abteilung	-mycota
alakaari	underdivision	subdivision	Unterabteilung	-mycotina
luokka	klass	class	Klasse	-mycetes
alaluokka	underklass	subclass	Unterklasse	-mycetidae
lahko	ordning	order	Ordnung	-ales
heimo	familj	family	Familie	-aceae
suku	släkt	genus	Gattung	

Perinteisessä taksonomisessa järjestelmässä kaari (phylum) on ollut kunkin eliökunnan korkein hierarkkinen taso. Nykyisin yleisesti käytetyssä sukupuussa lahko on eräänlainen perustaso, jonka ylä- ja alapuolelle sukuuun haarautumista rakennetaan. Läheskään kaikille lajeille fylogeneettinen ryhmittely ei löydä kaikkia vanhan taksonomisen hierarkian tasoja. Tällöin monet lajien ryhmittelyä kuvaavat tietokannat käyttävät termiä *'incertae sedis'*.

Esimerkki vehnähärmän (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici*) sijoittumisesta nykyiseen eliökunnan sukupuuhun:

Eliökunta

Sukuhaara

Kaari

Alakaari

Luokka

Alaluokka

Lahko

Heimo

Suku

Laji

Alalaji

Erytismuoto

Fungi

Dikarya

Ascomycota

Pezizomycotina

Leotiomycetes

Leotiomycetidae

Erysiphales

Erysiphaceae

Blumeria

graminis

incertae sedis

f. sp. *tritici*

Opiskelijan pitää kurssin jälkeen osata **tärkeimpien taudinaiheuttajien lajinimet** ja sijoittaa esimerkilajit ryhmiin:
Eliökunta/Kaari/Luokka

3.5.3 Sienimäisten eliöiden lajinsisäisiä luokittelutapoja

Eliöiden perusyksikkö on laji. Perinteisen määrittelyn mukaan **"Biologinen laji"** on ryhmä lähisukuisia eliöitä, jotka risteytyvät keskenään. Sienten ryhmittelyssä ei aina ole itsestään selvää, mitä lajilla tarkoitetaan, koska monilta ryhmiltä suvullinen lisääntyminen puuttuu. Sienitieteilijöiden välillä on paljon erimielisyyksiä siitä, voidaanko tiettyä eliöryhmää kutsua omaksi lajikseen, vai onko se tiettyihin olosuhteisiin sopeutunut muunnos. DNA-tekniikkaan eivät toistaiseksi ole tuoneet helpotusta tähän ongelmaan, koska mitään standardia ei ole siitä, mikä bioinformatikkojen laskema tilastomatemattinen geneettinen etäisyys erottaa yhden lajin toisesta.

Kasvipatologit käyttävät yleisesti lajinsisäisiä ryhmittelyjä, joiden tarkoitus ainakin alun perin on ollut helpottaa – ei hankaloittaa – ymmärtämään tiettyjen lajien monimuotoista käyttäytymistä kasvipatogeneineinä.

Alalaji (subspecies = ssp. subsp.)

Alalajit voidaan mikroskooppisten hienorakenteiden perusteella erottaa toisistaan, mutta toisaalta rakenteellisia yhtäläisyyksiä on niin paljon, ettei ryhmä täytä lajille asetettuja kriteereitä. Usein alalajeilla on erilainen levinneisyysalue.

Muunnos (varietas = var.)

Lajin muunnokset eroavat toisistaan rakenteeltaan vähemmän kuin alalajit. Kahden muunnoksen erona voi olla esimerkiksi tietyn "elimen" hienorakenne tai itiöiden keskimääräinen koko. Muunnoksilla voi olla myös ravintoalustalla kasvatettuna erilainen kasvatapa, vaikka mikroskooppiset rakenneominaisuudet ovat samanlaisia.

Fysiologinen rotu (forma specialis = f. sp.)

Fysiologisten rotujen välillä ei ole mikroskoopilla havaittavia rakenteellisia eroja, mutta rakenteeltaan täysin samanlaiset lajit pystyvät aiheuttamaan taudin vain tietyssä kasvisuvussa tai –lajissa

Patotyyppi (myös virulenssiryhmä) (pathotype, virulence race)

Rakenteellisesti täysin identtisiä saman lajin edustajia, jotka pystyvät aiheuttamaan taudin vain isäntäkasvilajikkeissa (yksilöissä), joilta puuttuu patogeenin tunnistava kestävyysgeeni

Parittelutyyppi (mating type)

"Sukupuoli". Sienistä ei voi ulkoisten tuntomerkkien perusteella päätellä, onko kyseessä uros vai naaras. Eri paritteluryhmiä edustavat rihmastot voivat paritua keskenään.

Anastomoosiryhmä (anastomosis group)

Lajin sisäinen ryhmä, jonka yksilöiden sienirihmastot voivat yhtyä keskenään ja vaihtaa tumia ilman hedelmöitystä. Eri anastomoosiryhmät voivat olla lisäksi erikoistuneita tiettyihin isäntäkasveihin

3.5.4 Sienimäisten eliöiden nimistöjärjestelmä

Sienten ja sienimäisten eliöiden nimet muodostetaan latinankielisen binomijärjestelmän mukaan, kuten kasvien ja eläinten nimet. Tieteellisiä nimiä käytetään sovittujen kansainvälisten sääntöjen mukaan. Sienten nimistöä säätelevä 'lakikirja' on International Code of Botanical Nomenclature (McNeill et al. 2006). Sienten tieteelliset nimet ovat kaksiosaisia. Sanoista ensimmäinen määrittelee suvun ja toinen lajin. Lisäksi tieteellisiin nimiin liitetään nimen antaja(t) (auktori), yleensä nimen antajan sovittu lyhenne. Auktori on sen henkilön nimi, joka on ensimmäisenä kuvannut ja nimennyt sienilajin. Jos sienilaji siirretään toiseen sukuun, alun perin lajin kuvanneen henkilön nimi laitetaan sulkuihin ja siirron tehneen henkilön nimi seuraa sulkujen ulkopuolella, esim. *Drechslera graminea* (Rabenh.) Shoem.

Mykologisissa artikkeleissa tieteellinen nimi kirjoitetaan täydellisenä, kun se esiintyy ensimmäisen kerran tekstissä. Tällöin myös nimen antajat I. auktorit mainitaan, esim. *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary. Seuraavilla kerroilla nimi voidaan lyhentää mainitsemalla vain sukunimen ensimmäinen kirjain ja lajinimi, esim. *P. infestans*. Kasvipatologiset tiedelehdet ovat pitkälti luopuneet näistä muotovaatimuksista. Tieteelliset nimet *kursivoidaan* tekstissä, mutta nimiin liittyviä määreitä, kuten auktoireita, alalajien tunnuksia (ssp.) ym. ei kursivoida. Uusimpien ohjeiden mukaan kaikki mahdollisesti käytettävät taksonomisten ryhmien nimet kursivoidaan, ennen kursivoitiin vain suku ja laji.

Lajinimi korvataan usein lyhenteellä sp., esim. *Phytophthora* sp., jos lajia ei tiedetä tai puhutaan vain yleisesti jostakin tarkemmin määrittelemättömästä *Phytophthora*-lajista. Monikossa lyhenne on spp., esimerkiksi *Phytophthora* spp. tarkoittaa useita *Phytophthora*-lajeja.

Taudinaiheuttajan tieteellinen nimi on suositeltavaa mainita myös suomenkielisessä tekstissä, jos pelkkä taudin nimi voi aiheuttaa sekaannuksia. Esimerkiksi taimipoltetta aiheuttavia sienilajeja on useita. Suomenkieliset taudinnimet ovat yhdyssanoja esim. kurkunmustapistemätä, porkkananmustamätä, ohrantyyvi- ja lehtilaikkutauti, jos tautia esiintyy vain tietyllä kasvilla. Isäntäkasvin voi jättää pois taudinnimestä, mikäli se ei aiheuta sekaannuksen vaaraa. Mikäli

samanniminen tauti esiintyy useilla kasveilla isäntäkasvin ja taudin nimi kirjoitetaan erikseen, esim.: vehnän härmä, mansikan härmä, herukan ruoste, ohran ruoste.

Suvullisen ja suvuttoman lisääntymisen vuorottelu sienten elinkierrossa aiheuttaa pulmia sienilajien nimistössä. Monista sienilajeista on löydetty ensin suvuton kehitysaste ja sen nimi on kasvipatologiassa vakiintunut käyttöön – myöhemmissä tutkimuksissa on löytynyt suvullinen aste ja samalla taudinaiheuttajalla voi olla monta nimeä. Nykyinen ohje on kuitenkin yksiselitteisen selkeä: **Sienestä käytetään aina suvullisen kehitysasteen nimeä, jos sellainen on.** Taudinaiheuttajan oikea virallinen nimi kannattaa aina käydä tarkistamassa esim. Index Fungorum nettisivuilta.

Esimerkki, mitä nimistökoodi kertoo: ohranviurutauti

Suvullinen: *Pyrenophora graminea* Ito & Kuribay.
Suvuton: *Drechslera graminea* (Rabenh.) Shoem.
syn. *Helminthosporium gramineum* Rabenh.

Tulkinta: Vuonna 1857 G. L. Rabenhorst antoi sienin suvuttomalle kehitysasteelle nimen *Helminthosporium gramineum*. E. Shoemaker siirsi sienin 1959 toiseen sienisukuun *Drechslera* ja se sai nimen *Drechslera graminea*. Japanilaiset S. Ito ja Kuribayashi löysivät 1930 sienin suvullisen kehitysasteen. He kuvasivat tämän ja antoivat sille nimen *Pyrenophora graminea*, joka on nykyisin virallinen nimi.

Uusi fylogeneettinen ryhmittely on lopultakin selkiyttämässä nimistöä, kun nekin lajit, joilla ei tunneta suvullista astetta, voidaan ryhmittää oikeiden sukulaisten kanssa samaan ryhmään. Internetin hakukoneet ja nykyiset kirjastojen tietokannat selviytyvät varsin hyvin, jos tietää taudinaiheuttajalle jonkin latinankielisen nimen. Index Fungorum (<http://www.indexfungorum.org/Names/Names.asp>) on käyttökelpoinen tietokanta hakea tämän hetken virallinen oikea nimi, joka yleensä antaa parhaan hakutuloksen eri tietokannoista.

Esimerkki, mitä nimistökoodi kertoo: mustaruosteiden vehnään erikoistunut muoto

Puccinia graminis Pers.: Pers. f. sp. *tritici* Eriks. & E. Henn.

Tulkinta: Persoon antoi mustaruosteelle nimen *P. graminis* v. 1797, mutta se oli puutteellisesti julkaistu. Myöhemmin v. 1801 Persoon täydensi lajikuvausta niin, että se oli julkaistu tieteellisesti oikein. Aikaisemmin käytettiin kaksoispisteen asemasta ex-sanana. Tämä käytäntö näkyy vanhemmissa julkaisuissa. Sitten Eriksson ja Henning osoittivat, että vehnällä esiintyvä mustaruoste tartuttaa vain vehnää ja tarkensivat tämän muodon f. sp. *tritici*-nimiseksi.

Harjoitus 2: Sienten luokittelu ja nimistö

Erillinen työohje - tavoite harjoitella nimistöön ja luokitteluun liittyvien tietokantojen käyttöä ATK-luokassa tai omatoimisesti

4 Elintarviketuotannon kannalta tärkeät sienet ja sienimäiset eliöt, niiden tunnistaminen ja keskinäiset sukulaissuhteet

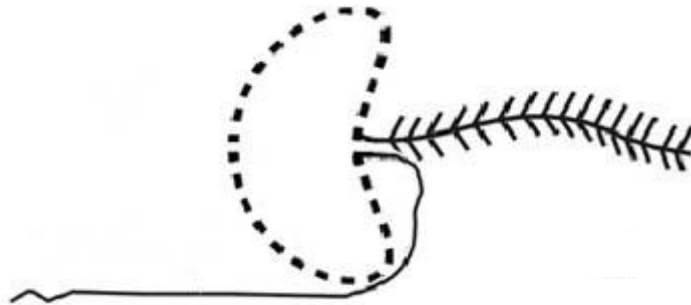
4.1 Eliökunta: *Stramenopila (Chromista)* – sukasiimaiset levämäiset eliöt

Nykyisen käsityksen mukaan levämäiset eliöt muodostavat oman *Stramenopila*-kunnan, josta on käytetty myös nimeä *Chromista*: sukasiimaisten eliökunta. Tämä on yksi eliömaailman runsaslajisimpia ryhmiä. DNA/RNA-juosteiden yhtäläisyyden ohella yhdistävänä piirteenä kaikille sukasiimaisten eliökunnan eliöille ovat parveiluition uintisiimojen rakenneominaisuudet.

Taulukko 2. Sienimäisten eliöiden ja sienten kasvulliset vaiheet, lisääntymistavat ja itiömuodot

Eliökunta	Kaari	Kasvullinen vaihe	Suvullinen lisääntyminen	Suvuton lisääntyminen	Parveilutiöt	Lajeja arviolta
<i>Stramenopila (Chromista)</i>	<i>Oomycota</i>	Väliseinätön sienirihmasto (soluseinät β -glukaania selluloosaa)	Rihmastosta erilaistuneiden sukuelinten ja niiden tumien yhdistyminen => munaitiö (Oospori)	Pesäkeitiö (sporangiospori), parveilutiö (zoospori)	2-siimaisia, värekarvallisia	40 000
<i>Rhizaria (Cercozoa)</i>	<i>Phytophyxa (Plasmodiophoromycota)</i>	Ei sienirihmasto, kasvisoluissa loisiva limakko, ei soluseinää, vaan solukelmu	Parveilutiöiden yhtyminen => diploidi limakko => lepoitiöt	Parveilutiö (zoospori)	2-siimaisia, värekarvattomia	40 000
<i>Amoebozoa</i>	<i>Mycetozoa</i>	Ei sienirihmasto, hitaasti liikkuva, suurikokoinen limakko, ei soluseinää, vaan solukelmu	Myxamebojen tai parveilutiöiden yhtyminen => Pesäkeitiö (sporangiospori)	Myxameeba, parveilutiö, (zoospori)	2-siimaisia, värekarvattomia	15 000
<i>Fungi</i>	<i>Chytridiomycota</i>	Ei sienirihmasto, sekovarsi (thallus)	Parveilutiöiden yhtyminen	Parveilutiö (zoospori)	1-siimaisia, värekarvattomia	1 000
<i>Fungi</i>	<i>Zygomycota</i>	Väliseinätön sienirihmasto (soluseinät kitiiniä)	Rihmastosta erilaistuneiden sukuelinten ja niiden tumien yhdistyminen =>yhtymäitiö (Tsygospori)	Pesäkeitiö, sporangiospori	ei ole	900
<i>Fungi</i>	<i>Glomeromycota</i>	Väliseinätön sienirihmasto (soluseinät kitiiniä)	Ei tiettävästi lisäännysuovullisesti	Pesäkeitiö, sporangiospori	ei ole	150
<i>Fungi</i>	<i>Ascomycota</i>	Väliseinäinen sienirihmasto (soluseinät kitiiniä)	Rihmastosta erilaistuneiden sukuelinten ja niiden tumien yhdistyminen => Koteloitiö (Askospori)	Kuromaitiö (konidio)	ei ole	50 000
<i>Fungi</i>	<i>Basidiomycota</i>	Väliseinäinen sienirihmasto (soluseinät kitiiniä)	Rahenteeltaan samanlaisten sienirihmojen yhtyminen => Kantaitiö (Basidiospori)	Kuromaitiö (konidio)	ei ole	30 000

Stramenopila-kuntaan kuuluu kirjava joukko ulkomuodoltaan hyvin erilaisia eliöitä, joista valtaosa on viherhiukkasia sisältäviä viher- tai ruskoleviä (green-brown algae). Fylogeneettisessä sukupuussa nämä ryhmittyvät lukuisiin eri kaariin, lahkoihin ja heimoihin. Taloudellisesti merkittäviä kasvitauteja aiheuttavia eliöitä on vain *Oomycota*-kaareen luokiteltujen lajien joukossa. Rakenteellisten, ekologisten ja epidemiologisten ominaisuuksiensa osalta nämä muistuttavat erittäin läheisesti sieniä, vaikka ovatkin fylogeneettisesti varsin etäällä sienikunnan edustajista.



Kuva 4. Kaikilla *Stramenopila*-kunnan eliöillä on jossakin elämänkierron vaiheessa kaksihäntäinen poikittaisia värekarvoja liikkumisessaan hyödyntävä parveiluitiö.

4.1.1 Kaari: *Oomycota*, Luokka: *Oomycetes*, munasienet

Oomycota-kaareen kuuluu kasvien ja eläinten ehdottomia ja ehdollisia loisia, sekä saprofyttisiä lajeja. Kaaressa on neljä kasvipatologisesti tärkeää lahkoa, *Saprolegniales*, *Pythiales*, *Peronosporales* ja *Albuginales*. *Saprolegniales*-lahkoon kuuluu pääasiassa saprofyttisiä lajeja. Poikkeuksena ovat kuitenkin *Aphanomyces*-suvun lajit, jotka aiheuttavat taimipoltetta ja juuristo- ja lakastumistauteja mm. juurikkailla ja palkokasveilla. *Pythiales*-lahkoon kuuluu maassa eläviä, isäntäkasvien suhteen melko erikoistumattomia *Pythium*-lajeja. *Peronosporales*- ja *Albuginales*-lahkossa on yhteen tai harvoin isäntäkasveihin erikoistuneita kasvien miltei ehdottomia loisia.

Mikroskoopilla näkyvien tunnusmerkkien osalta *Oomycota*-kaaren lajit eivät poikkea suuresti aidoista sienistä. Niillä on yleensä nopeakasvuinen rihmasto, suvuttomasti lisääntyviä ja seksuaalisen kanssakäymisen tuloksena syntyviä tautia levittäviä itiömuotoja, sekä kestoasteita takaamaan lajin ja yksilön säilymisen.

Munasienten kasvullinen vaihe on väliseinätön, monitumainen (kenosyyttinen) rihmasto. Toisin kuin varsinaisilla sienillä munasienten kasvullinen rihmasto on kromosomistoltaan diploidi. Lisääntymiselimet erottuvat kasvullisesta rihmastosta väliseinällä. Soluseinä koostuu pääasiassa β -glukaaneista sekä selluloosasta. Soluseinien kitiinipitoisuus on hyvin pieni verrattuna varsinaisiin sieniin. Myös munasienten mitokondriot eroavat rakenteeltaan aitosienten vastaavista organelleista. Munasienet poikkeavat aitosienistä myös biokemiallisilta ominaisuuksiltaan. Esimerkiksi munasienten lysiinin biosynteesi on samanlainen kuin kasveissa (diaminopimelic (DAP)-reitti), kun taas aitosienet syntetisoivat lysiiniä alpha-aminoadeipic acid (AAA) -reittiä käyttäen.

Munasienet lisääntyvät suvuttomasti kaksisiimaisilla parveiluitiöillä, jotka syntyvät itiöpesäkkeissä (sporangio). Parveiluitiöiden siimorakenne ja toiminta erottaa *Stramenopila*-kunnan muista parveiluitiöllisistä eliöistä. Eräiden lajien itiöpesäkkeet voivat kuivissa oloissa toimia kuromaitiön tavoin. Tällöin sporangio kasvattaa parveiluitiöiden sijasta iturihman, joka tunkeutuu

isäntäkasvin soluihin. *Oomycota*-lajeilla on selvästi erilaistuneet uros- ja naaraspuoliset lisääntymiselimet. Haploidin munapesäkkeen (oogonio) ja haploidin siittiöpesäkkeiden (anteridio) pariutumisen seurauksena munapesäkkeistä syntyy yksi tai useampi diploidi jälkeläinen, munaitiö (oospori). Monien lajien munaitiöt toimivat kestoasteena, jonka avulla laji voi säilyä isäntäkasvittoman vaiheen yli. Munaitiön itäessä syntyy tavallisesti itiöpesäke, jossa muodostuu parveiluitiöitä.

4.1.1.1 Lahko: Saprolegniales

Ryhmän kasvipatogeenit ovat maassa eläviä lajeja, jotka ovat erikoistuneet yleensä melko harvoin isäntäkasveihin. Ne vioittavat kasvien juuristoa, josta seuraa erilaisia taimipolte- ja lakastumisoireita. Kasvipatogeenijä lajeja ei ole paljon, mutta ne voivat säilyä maassa hyvin pitkään ja tehdä taudinarkojen kasvilajien viljelyn lähes mahdottomaksi vakavaa tartuntaa kantavalla pellolla.

Esimerkkipatogeeni: *Aphanomyces euteiches* Drechsler

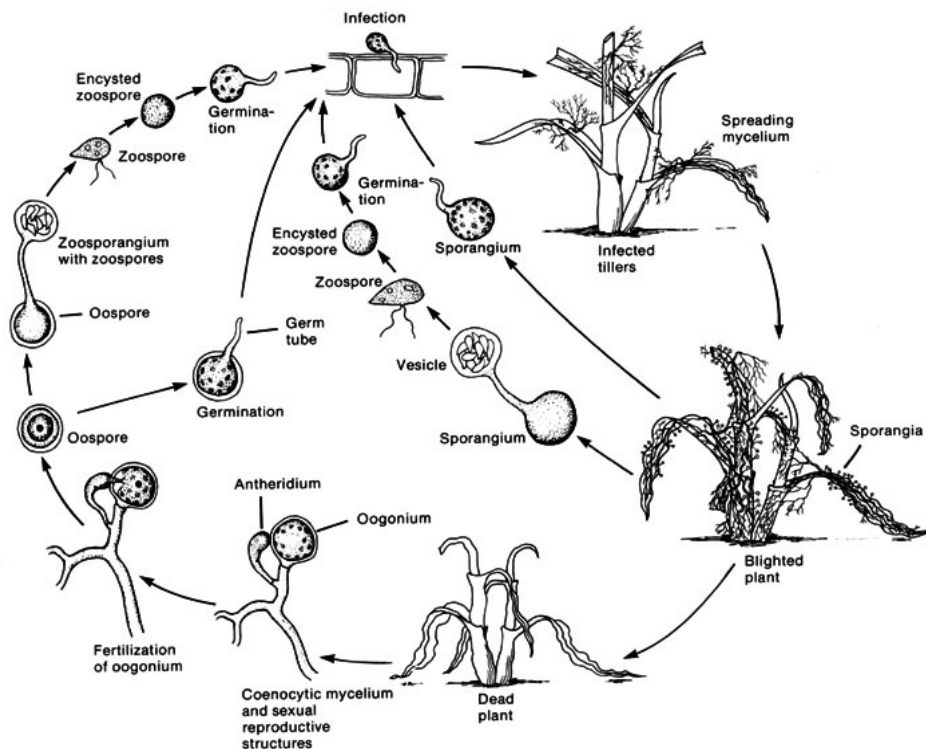
- Herneenlakastumistauti
- Maassa pitkään säilyvä herneen juuria vioittava tauti, ei ole onneksi kovin yleinen Suomessa, mutta yksittäisillä pelloilla voi tuhota koko sadon
- Ei voida torjua kemiallisesti
- Lakastumistaudin takia herne vaatii hyvän viljelykierron
- Hernettä samalle lohkolle enintään 5 vuoden välein

4.1.1.2 Lahko: Pythiales

Tämänkin ryhmän kasvipatogeenit ovat maassa eläviä lajeja, mutta niillä on yleensä erittäin laaja isäntäkasvilajisto. Kasvipatogeenien lajien munaitiöt säilyvät maassa muutamia vuosia tartutuskykyisinä, joten hyvä viljelykierto auttaa tautien torjunnassa. Viljelykiertoa suunniteltaessa on tunnettuva hyvin eri lajien isäntäkasvilajisto.

Esimerkkipatogeenija: *Pythium debaryanum* R. Hesse ja *Pythium ultimum* Trow.

- Maassa eläviä moni-isäntäisiä ehdollisia loisia
- **Sokerijuurikkaantaimipolte** tappaa nuoria taimia pelloilla, joilla viljellään sokerijuurikasta liian usein. Voidaan torjua kylvösiemenen peittauksella
- **Kurkunlakastumistauti** tuhoaa etenkin kasvihuonekurkun juuria ja tyviosia. Seurauksena kasvit lakastuvat. Torjutaan huolehtimalla kasvualustan hygieniasta. Voidaan torjua myös käsittelemällä kasvualusta fungicideilla tai biologisella torjuntaeliöllä
- **Perunansydänmätä** tuhoaa mukuloiden maltoa loppukesällä pellossa ja etenkin varastossa. Vasta pitkälle edennyt laho näkyy päällepäin: vioittuneet mukulat on vaikea poistaa lajittelussa. Tauti on yleistynyt viime vuosina ja aiheuttaa merkittäviä satotappioita yksittäisillä lohkoilla
- **Porkkanankuoppamätä** aiheuttaa kraaterimaisia kuoppia porkkanoihin



Kuva 5. *Pythium* sienten elinkierto

Harjoitus 3: Juuristotauteja aiheuttavien *Pythiales*-lahkon taudinaiheuttajien tunnistaminen, isäntäkasvit ja oireet

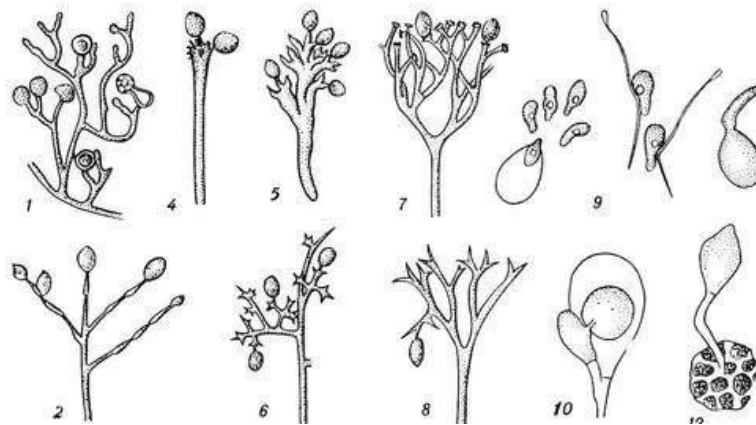
Erillinen työohje - tavoite on tutkia maalevintäisten munasienten rakenteita ja tutustua moni-isäntäisen monimuotoisen lajin isäntäkasveihin ja erilaisiin tautioireisiin

4.1.1.3 Lahko: Peronosporales

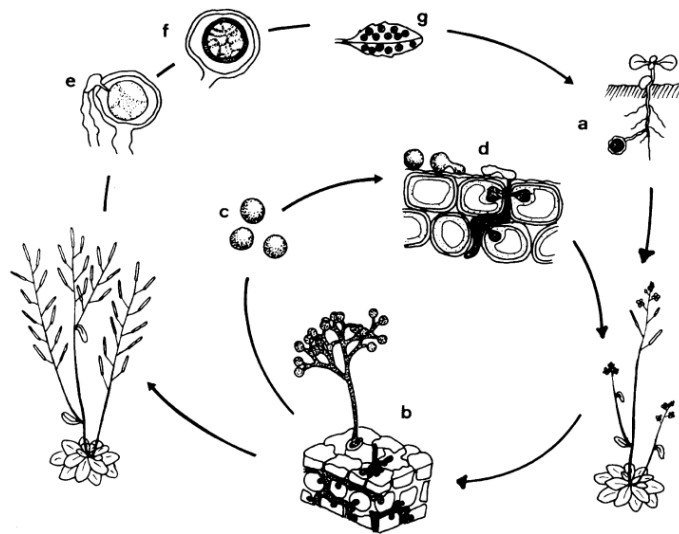
On Laaja ryhmä luonteeltaan kasvien ehdottomia loisia, jotka aiheuttavat erilaisia kuoliolaikkuja isäntäkasvien lehtiin. Sairaissa kohdissa lehtien alapinnalla näkyy hentoa sienirihmastoa jossa pesäkkeenkannattimet ja pesäkeitiöt syntyvät. Useimmat lajit voidaan tunnistaa pesäkkeenkannattimen rakenteen perusteella. Monet lajeista ovat erikoistuneet hyvin harvoin isäntäkasveihin. Niitä kutsutaan yleisnimellä: lehtihomeet (Downy mildews)

Esimerkipatogeeneja: *Bremia*, *Peronospora* ja *Hyaloperonospora*

- **Salaatinlehtihome** (*Bremia lactucae* Regel) aiheuttaa lehti- ja keräsalaateihin vetistäviä ruskeita kuoliolaikkuja, jotka pilaavat salaatin ulkonäköä pahasti. Tauti pysyy parhaiten hallinnassa viljelemällä taudinkestäviä salaattilajikkeita. Tautia esiintyy Suomessa, mutta se ei ole ollut erityisen tuhoisa
- **Sipulinnattihome** (*Peronospora destructor* (Berk.) Casp. ex Berk) tuhoaa sipulin naatteja. Naattien pinnalle kehitty harmaanruskeaa homekasvustoa, joka tappaa naatit nopeasti ja sipulisato voi jäädä hyvin pieneksi. Tautia torjutaan yleisesti fungisidiruiskutuksin.
- **Ristikukkaistenlehtihome** (*Hyaloperonospora parasitica* (Pers.) Constant.) on hyvin yleinen ristikukkaisten öljykasvien (Rypsi, Rapsi) tauti. Alkukesästä tauti aiheuttaa keltaisia kuoliolaikkuja lehtiin. Niiden alapinnalla kasvaa hentoa lähes väriltöntä homekasvustoa. Myöhemmin kesällä tauti voi levitä varsiin ja lituihin. Pahimmillaan varret kuolevat ja lituihin kehitty vain muutama siemen. Toistaiseksi taudin torjuntaa ei ole pidetty tarpeellisena.



Kuva 6. Lehtihomeiden pesäkkeenkannattimia ja itiöpesäkkeitä



Kuva 7. Tyypillisten lehtihomeiden elinkierto. *b,c,d* suvuton lisääntyminen; *e,f,g*, suvullinen lisääntyminen. *Hyaloperonospora parasitica*, Ristikukkaistenlehtihome.

Harjoitus 4: Lehtihomeita aiheuttavien *Peronosporales*-lahkon taudinaiheuttajien tunnistaminen pesäkkeenkannattimien ja pesäkeitiöiden rakenteista

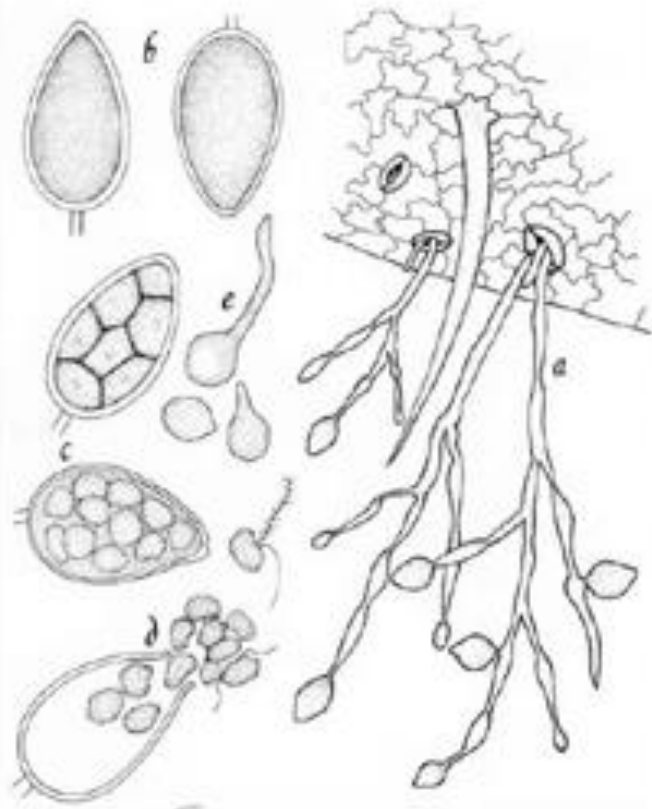
Erillinen työohje - tavoite on harjoitella erottamaan lehtihomeita lajityypillisten oireilevien kasvien pinnalla näkyvien rakenteiden perusteella

***Phytophthora*-suvussa**, joka aiemmin luokiteltiin *Pythiales*-lahkoon, on tyypillisten lehtihomeiden kaltaisia lajeja, mutta myös maassa eläviä, sekä melko erikoistuneita että moni-isäntäisiä taudinaiheuttajia. Joukossa on myös erittäin haitallisia karanteenitauteja, joita ei vielä ole Suomessa, mutta jotka vaanivat jo aivan lähialueilla.

Phytophthora-suvun lajit kykenevät lisääntymään räjähdysmäisen nopeasti ja monet lajit ovat erittäin muuntelukykyisiä. Uusia muotoja ja jopa lajeja syntyy tai löytyy jatkuvasti. Näitä voidaan pitää yhtenä uhkaavimmista vieraslajiryhmistä, jotka leviävät erityisen herkästi erilaisten tuontitaimiaineistojen mukana. Uudet taudit havaitaan usein vasta, kun tuontitaimet on jo istutettu tuotantopaikalle. Nopeasti leviävinä ja pitkään maassa säilyvinä niiden hävittäminen on erittäin hankalaa ja kallista. Eräät hiljakkoin Suomeen levitetyt lajit voivat uhata jopa luonnonvaraisten varpukasvien menestymistä.

Esimerkkipatogeeneja: *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary)

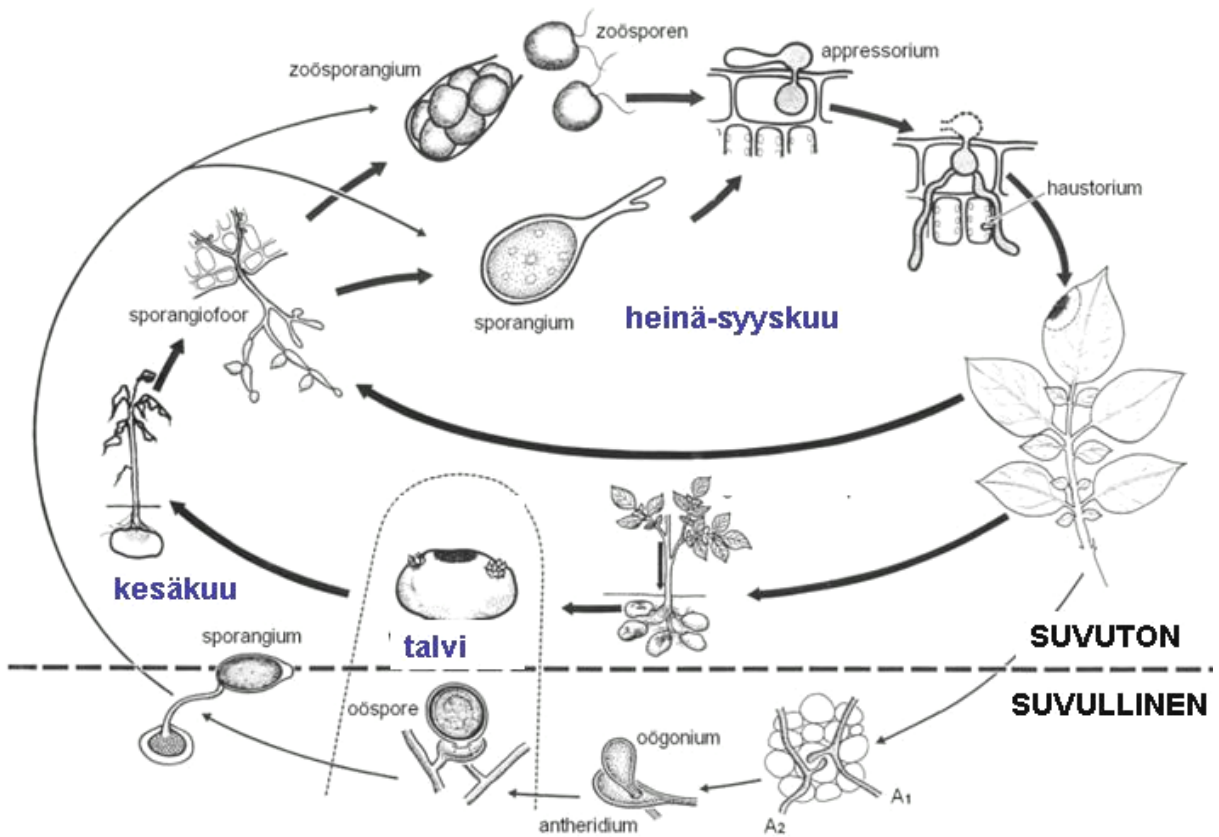
- **Perunarutto** on koisokasvien (*Solanaceae*) tauti, jota Etelä-Amerikassa esiintyy muutamilla muillakin luonnossa kasvavilla kasviheimoilla. Suomessa tauti on jokavuotinen riesa perunalla. Sitä esiintyy joskus myös tomaatilla. Tauti voi iskeytyä lisäksi petuniaan ja punakoisoön
- Tauti ilmenee aluksi kasvien lehdissä epäsäännöllisinä kuoliolaikkuina, jotka parissa päivässä laajenevat pyöreäköiksi mustanruskeiksi lehtilaukuiksi. Laikkujen alapinnalla näkyy hentoa, vaaleaa sienikasvustoa, jossa pesäkkeenkannattimet ja tautia levittävät pesäkeitiöt syntyvät. Terveen ja sairaan solukon välinen raja on hyvin epäseltävä toisin kuin muilla peruna lehtiä vioittavilla taudeilla. Kostealla säällä tauti leviää räjähdysmäisesti ja koko kasvusto voi pahimmillaan tuhoutua 5 – 10 päivässä. Taudinaiheuttaja vaurioittaa kaikkia perunan maanpäällisiä osia ja voi lisäksi levitä mukuloihin. Sairastuneet mukulat lahoavat joko pellossa tai varastossa käyttökeltottomiksi.
- Maailmanlaajuisesti perunarutto on yksi tuhoisimpia kasvitaueteja ja siitä vuosittain koituvat kustannukset ovat satoja miljardeja euroja. Kehittyneiden maiden tavanomaisessa perunantuotannossa tauti pystytään yleensä pitämään kurissa kemiallisilla kasvinsuojeluaineilla. Torjuntaan tarvitaan Suomessakin nykyisin keskimäärin 4 – 8 perättäistä torjuntaruiskutusta.
- Perunarutolla on kaksi pariumismuotoa ("sukupuolta", mating type) A1 ja A2. 1980-luvulle asti A2-muotoa esiintyi vain Meksikossa. Uusi molempia pariumismuotoja sisältävä uusi ruttopopulaatio levisi 1980-luvulla Eurooppaan ja edelleen kaikkialle, missä perunaa viljellään. Suvullisesti lisääntyvä kilpailukykyinen uusi populaatio syrjäytti 1990-luvun aikana kokonaan vahan klonaalisen populaation ja nykyisin sitä löytyy enää Aasian syrjäisiltä vuoristoseuduilta ja Australian mantereelta.



Kuva 8. *Perunaruton pesäkeitiönkannattimet kasvavat esiin lehden alapinnan ilmaraoista. Ne ovat haaroittuneita ja jatkavat usein kasvuaan itiöpesäkkeen irtoamisen jälkeen. Itiöpesäkkeet ovat sitruunanmuotoisia. Kosteissa ja viileissä oloissa pesäkeitiöstä erilaistuu joukko kaksisiimaisia parveilutiöitä. Ne hakeutuvat lehden ilmarakojen tai haavojen kautta lehtisolukon sisään. Ne voivat myös muuttua liikkumattomiksi kystiksi, joiden kasvattama iturihma tunkeutuu suoraan lehden pintakerrosten läpi perunan lehden sisään. Itämisestä infektiioon tarvitaan noin 2 – 4 tunnin jakso, jolloin ilman suhteellinen kosteus lehden pinnalla on yli 90 %. Kuivissa ja lämpimissä oloissa pesäkeitiö voi itää myös suoraan iturihmalla eli toimia kuromaitiön tavoin.*



Kuva 9. Munaitiöitä syntyy yleensä kahden eri paritumismuotoa (mating type) edustavan rihmaston kasvaessa toistensa lähellä. *P. infestans* -sienen parituessa munapesäke kasvaa siittiöpesäkkeen läpi. Useimmilla muilla *Phytophthora*-lajeilla siittiöpesäke tunkeutuu munapesäkkeen sisään.



Kuva 10. Perunaruton suvullinen ja suvuton elinkierto.

Harjoitus 5: Oomycetes-lajien rakenteita ja ominaisuuksia *Phytophthora infestans* esimerkkilajina

Erillinen työohje - tavoite oppia tunnistamaan munasienten erilaisia perusrakenteita ja oppia lisääntymiseen ja infektiin liittyviä ominaisuuksia

Lisää *Phytophthora*-tauteja

- **Perunanpunamätä** (*Phytophthora erythroseptica* Pethybr.) pilaa perunan mukuloita. Mukulat muuttuvat vetisiksi ja malto muuttuu vaaleanpunaiseksi noin 30 minuutissa kuorinnan tai halkomisen jälkeen.
- **Mansikannahkämätä, Mansikantyyvimätä** (*Phytophthora cactorum* (Lebert & Cohn) J. Schröt.) Nahkamätä ilmenee marjoissa nahkamaisina kuoliolaikkuina, jotka tekevät mansikat syömaaäkelvottomiksi. Tyvimätä tappaa nuoria mansikantaimia. Tauti leviää helposti tartunnan saaneissa taimissa ja säilyy pitkään maassa. Tauti on nopeasti yleistynyt.
- **Tammenäkkikuolema** (*Phytophthora ramorum* Werres, De Cock & Man) on hiljakkoin Eurooppaan ja Suomeen levinnyt uhkaava tauti. Tauti tuhoaa lehtipuita, mutta se on lisäksi tuhoisa puuvartisten koristekasvien (Esim. alppiruusu) taimille. Tauti voi vaurioittaa myös metsiemme varpumaisia aluskasveja. Se on levinnyt nopeasti taimikaupan myötä.

4.1.1.4 Lahko: Albucinales

Kasvipatologian kannalta pieni ryhmä, kasvien ehdottomia loisia.

Esimerkkipatogeeni: *Albugo candida* (Pers.) Roussel

- **Aiheuttaa Kalkkihometta** ristikkukaisilla kasveilla. Meillä tärkeimmät isäntäkasvit ovat rypsi ja rapsi. Tauti on myös yleinen lutukalla ja muutamilla muilla rikkakasveilla.
- Tauti ilmenee aluksi kasvien lehdissä tai varressa vaaleina pesäkkeinä. Tauti etenee systeemisesti versoissa, jolloin niistä tulee epämuotoisia. Epämuotoisissa varsissa ja latvuksissa syntyy valtavat määrät vaaleita pesäkeitiöitä.
- Tauti on yleinen ja tuhoisa sairastuneelle kasviyksilölle. Tavallisesti tautia on tuotantopelloilla siellä täällä yksittäisissä kasveissa ja taudista koituvat satotappiot ovat melko vähäisiä.
- Lajikkeiden taudinkestävyys on paras keino estää tuhoja. Eräissä maissa, kuten Kanadassa, saa viljellä vain taudinkestäviä viljelykasvilajikkeita.

4.2 Eliökunta: *Rhizaria* – juurijalkaiset

Rhizaria on lajirikas kunta, johon kuuluu erilaisia yksisoluisia aitotumaisia eliöitä, jotka aikaisemmin luokiteltiin alkueliöiksi ja alkueläimiksi niiden yleensä toisenvaraisen elintavan vuoksi. Joillakin lajeilla tosin voi olla soluissaan endosymbionttisia yksisoluisia leviä tai niistä evoluution kuluessa surkastuneita viherhiukkasia. Useat niistä ovat ulkomuodoltaan amebamaisia eliöitä, joilla on säiemäisiä, verkkomaisia tai mikrotubuluksiin liittyviä valejalkoja. Monilla lajiryhmillä on lisäksi erilaisia solunulkoisia tukirankoja ja kuoria. Melkein kaikilla on yhteisenä rakennepiirteenä mitokondrioiden putkimaiset kristat eli sisäkalvon poimut.

Rhizaria-kunta jaetaan kolmeen pääjaksoon, *Cercozoa*, *Foraminifera* ja *Radiolaria*. *Rhizaria*-kunta on kuvattu vasta vuonna 2002. Kaikkien kuntaan kuuluvien taksonien keskinäinen sukulaisuus ei tutkimustiedon uutuudesta johtuen ole vielä selkeä, ja nämä luokittelut voivat tämän vuoksi tulevaisuudessa muuttua ja tarkentua. Tämän kunnan lajeille löytyy kirjallisuudesta internetistä lukuisia erilaisia ryhmittelyjä. Monisteessa noudatetaan Tree of life <http://tolweb.org/Cercozoa/121187> hankkeen luokittelua.

4.2.1 Kaari: *Phytomyxa* (*Plasmodiophoromycota*), Luokka: *Plasmodiophorida*, möhö sienet

Tämän kaaren lajit ovat siemenkasvien, sanikkaisten, levien tai sienten soluissa eläviä ehdottomia loisia. Ne aiheuttavat solujen lukumäärän lisääntymistä ja solujen koon kasvua. Solumuutokset ilmenevät paisumina tai äkämänä. Lisäksi useimmat lajit voivat toimia kasvivirusten vektoreina.

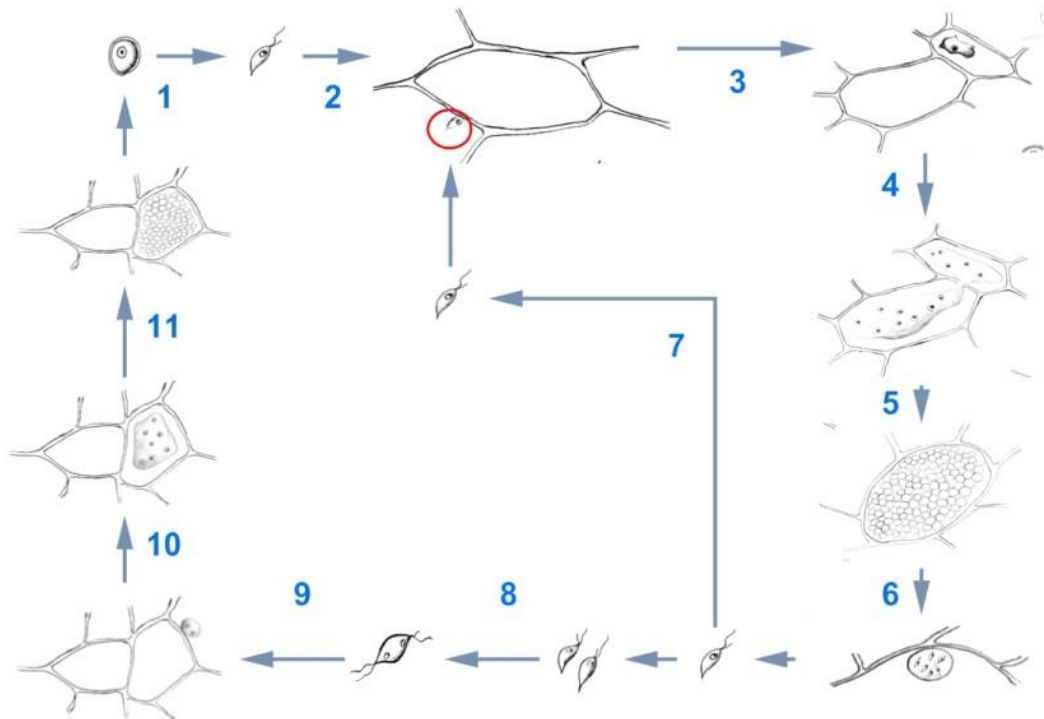
'Plasmodiophoridit' ovat hyvin selkeä, lajimäärältään pieni, itsenäinen fylogeneettinen ryhmä, jonka tarkka sijainti eliömaailman sukupuussa on yhä ratkaisematta. Kurssilla möhösieniä käsitellään juurijalkaisiin kuuluvana kaarena, *Phytomyxa* (aiemmin *Plasmodiophoromycota*).

4.2.1.1 Lahko: *Plasmodiophoromycetes*

Plasmodiophoromycetes-ryhmälle on yhteistä tumanjakautumisessa syntyvä ristikuvio (cruciform nuclear division), 2-siimaiset parveilutiöt, monitumaiset protoplastit (plasmodi), ehdoton loisinta solujen sisällä ja pitkäikäiset lepoitiöt. Möhösienten kasvullinen kehitysvaihe on monitumainen limakko, joka kehittyy kasvisolujen sisällä. Limakko ottaa ravintonsa imeyttämällä isäntäkasvin solulimasta. Limakko voi koostua joko haploideista tai diploideista tumista. Diploidi limakko tuottaa lopulta haploideja, erittäin kestäviä lepoitiöitä, joiden soluseinissä on kitiiniä. Lepoitiöiden itäessä muodostuu 2-siimainen parveilutiö tai myksameba, kuten limasienilläkin. Parveilutiö tunkeutuu isäntäkasvin soluun, jonne muodostuu monitumainen haploidi limakko. Limakosta erilaistuu uusia parveilutiöitä, jotka voivat tunkeutua lähiympäristön soluihin. Kahden parveilutiön yhtyessä muodostuu diploidi parveilutiö, joka soluun päästyään muodostaa diploidin limakon. Rihmastollisia kehitysvaiheita möhösienillä ei ole.

Esimerkipatogeenejä: *Plasmodiophora*, *Spongospora* ja *Polymyxa*

- **Möhöjuuri** (*Plasmodiophora brassicae* Woronin) on kaalikasveihin erikoistunut kasvien ehdoton loinen. Tauti ilmenee kasvien juurissa epämuotoisina paisumina. Taudinaiheuttajan tuottamien kasvuhormoonien ansiosta yksittäiset juuren solut turpoavat ja johtosolukko menettää toimintakykynsä. Kasvit kärsivät veden ja ravinteiden puutteesta ja kuolevat ennenaikaisesti. Jos tauti iskeytyy kasvien varhaisessa kehitysvaiheessa, satoa ei ehdi muodostua lainkaan. Tauti on erityisen tuhoisa, jos alkukesä on sateinen. Möhöjuurta esiintyy Suomessa hyvin yleisesti ja arkojen kasvien viljelyssä on noudatettava hyvää viljelykiertoa, ettei taudin määrä pääse kohoamaan tuhokynnyksen ylittävälle tasolle. Suositeltava viljelyväli on 4 – 6 vuotta. Kaalinviljelyssä taudin tuhoja voidaan vähentää rajulla kalkituksella, mutta peltokasvien viljelyssä tämä ei ole taloudellisesti mahdollista.
- **Kuorirokko** (*Spongospora subterranea* (Wallr.) Lagerh) aiheuttaa perunan mukuloihin rupimaisia kasvaimia ja juuriin äkämäkasvaimia. Kuorirokko rumentaa mukuloiden ulkonäköä, muttei aiheuta perunalle suuria satotappioita. *S. subterranea* on perunan maltokaariviruksen (PMTV) vektori. PMTV puolestaan aiheuttaa mukuloiden maltoon kaarimaisia kuolioita, jotka tekevät oireilevat mukulat täysin käyttökelttomiksi elintarviketuotantoon. Suomessa ja Pohjoimaissa Spongosporan levittämä PMTV on erittäin merkittävä perunan kuluttajalaadun heikentäjä.
- *Polymyxa betae* Keskin ja *Polymyxa graminis* Ledingham ovat juuristopatogeeneja, jotka eivät aiheuta isäntäkasvissa vakavia oireita. Ne ovat kuitenkin vaarallia virustautien levittäjiä. Molempia lajeja esiintyy Suomen peltomaissa, mutta virukset on onnistuttu toistaiseksi pitämään pois Suomen tuotannosta.



Chr. von den Berg

Kuva 11. *Plasmodiophora brassicae*-lajin elinkierto, täydennä keskeiset vaiheet kaavioon. Möhösiementen elinkierron kaikkia tarkkoja yksityiskohtia ei vielä tunneta. Varsin vähän tiedetään siitä, miten suvullisen kehityksen tapahtumat kahden parveilutiön yhtymisen jälkeen etenevät

Harjoitus 6: *Plasmodiophora brassicae*-oireet, solumuutokset ja eristäminen maasta

Erillinen työohje - tavoite oppia obligatorisen loisen aiheuttamia oireita ja osoittamismenetelmiä

4.3 Eliökunta: Amoebozoa-ryhmän limasienet

Ameebamaisia rakenteita omaavia lajeja on kuvattu yli 15 000. Tämän ryhmän taksonominen luokittelu on vielä sangen keskeneräinen, eikä edes pääryhmien asemasta vallitse yksimielisyyttä. Ryhmään ei kuulu merkittäviä kasvitautinaiheuttajia, mutta muutamia luonnossa ja maatalousympäristössä yleisiä epifyyttejä. Ryhmittelyssä on käytetty Pawlowskin ja Burkin (2009) suosituksia.

4.3.1 Pääryhmä: *Conosea*, Alaryhmä: *Mycetozoa*, limasienet

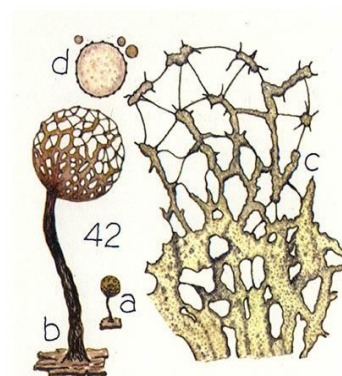
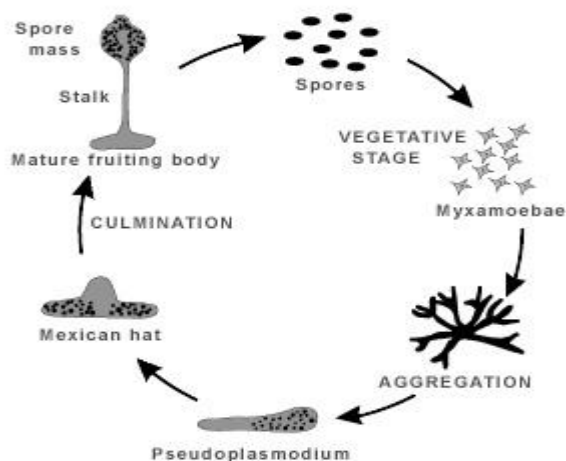
Limasienet elävät maan pintakerroksissa, lahoavalla eloperäisellä aineksella tai elävien kasvien pinnalla, käyttäen ravinnokseen bakteereita ja itiöitä, jotka ne ottavat limakon sisään amebamaisesti. Limasienet eivät ole kasvien loisia, mutta kosteissa oloissa ne voivat levitä pintamaasta kasvien pinnalle. Runsastuessaan ne voivat haitata kasvien kasvua tai tukehduttaa kasvin. Limasieniä esiintyy yleisesti nurmikoilla ja mansikkamailla.

Limasienten kasvullinen vaihe on monitumainen, amebamaisesti etenevä limakko (plasmodi). Limakolla ei ole soluseinää, vaan solukelmu, joten se voi muuttua muotoaan. Plasmodit voivat olla mikroskooppisen pieniä tai jopa neliömetrin laajuisia. Monilla lajeilla limakot ovat värillisiä. Epäsuotuisissa oloissa limakko voi muuttua sklerootiksi eli limakkopahkaksi, joka pystyy säilymään useita vuosia elinkykyisenä. Kun plasmodi on saavuttanut tietyn kehitysvaiheen, siitä alkaa erilaistua itiöpesäkkeitä, joiden koko ja muoto vaihtelevat suuresti eri lajeilla.

Yleisin itiöpesäketyyppi on värikäs, nuppimainen itiöpesäke, sporangio. Itiöpesäkkeissä muodostuvat itiöt (sporangiospori), jotka ovat aina yksisoluisia. Itiöiden joukossa on usein nauhamaisia säikeitä (kapillitio). Monilla limasienillä itiöt ovat pallomaisia. Itiön ja itiöpesäkkeen seinä on selluloosaa. Itiöiden itäessä syntyy 2-siimaisia parveilutiöitä, jotka kuivissa oloissa voivat muuttua amebamaisesti eteneviksi myksameboiksi. Myksamebat voivat jakautua useita kertoja mitoottisesti. Kosteuden lisääntyessä myksamebat voivat taas muuttua parveilijoiksi. Kummatkin vaiheet käyttävät bakteereita ravintonaan. Ravinnon niukkuuden tai liiallisen kuivuuden aikana myksamebat pyörityvät ja ne kehittävät ympärilleen kuoren muuttuen lepovaiheeksi, mikrokystaksi. Kasvuolojen muuttuessa suotuisiksi mikrokysta muuttuu jälleen myksamebaksi tai parveilutiöksi. Parveiluvaiheen päätteeksi parveilijat tai myksamebat hakeutuvat pareittain rinnakkain ja niiden solunsisällöt yhtyvät. Pian myös tumat yhtyvät ja syntyy yksitumainen diploidi tsygootti. Tsygootin tumat alkavat jakautua ja vähitellen solulimankin määrän kasvaessa kehittyä uusi limakko eli plasmodi.

Esimerkkilajeja:

- *Diachea leucopoda* (Bull.) Rostaf. ja *Stemonitis fusca* Roth ja muut vastaavat lähisukuiset lajit ovat luonnossa yleisiä lahoavassa kasviaineksessa eläviä limasieniä. Niille ovat tyypillisiä värikkäät itiöpesäkkeet, jotka *Diachea*-lajeilla ovat nuppineulamaisia ja *Stemonitis*-lajeilla pilarimaisia. Näitä lajeja voi toisinaan esiintyä kontaminaatioina erilaisissa kasviperäisissä tautinäytteissä.
- *Fuligo septica* (L.) F.H. Wigg ja lähisukuiset lajit näkyvät luonnossa värikkäinä suurikokoisina hitaasti liikkuvina limakkoina, esim. Paranvoi
- *Mucilago crustacea* P. Micheli ex F.H. Wigg ja lähisukuiset lajit ovat sateisina kesinä yleisiä nurmikoiden ja esim. mansikan pinnoilla kasvavia epifyyttejä. Ne eivät suoranaisesti vaurioita kasvia, mutta ovat eriskummallisen näköisiä ja voivat jossakin määrin haitata kasvien yhteyttämistä varjostamalla.



42 *Cribraria macrocarpa* Schrad.

- a Sporangium, $\times 3$
- b Same, $\times 15$
- c Detail of net, with spores, $\times 100$
- d Spore and dietydine granules, $\times 1000$

Reprinted from
The Myxomycetes
published by the
University of Iowa
Press in 1969.

Kuva 12. Kaaviokuva limasienten elämäntyyppien ja tyypillisten limasienten rakenteita.

Harjoitus 7: Limasienet erikoinen ja värikäs ryhmä

Erillinen työohje - tavoite selvittää limasienten elintapoja ja merkitystä luonnossa ja viljely-ympäristössä

4.4 Eliökunta: *Fungi* – aidot sienet

Nykykäsityksen mukaan kaikki sienet kuuluvat aitosienten kuntaan. Näitä organismeja yhdistää yhteisen kantamuodon lisäksi joukko fysiologisia piirteitä. Sienet ovat aitotumallisia toisenvaraisia organismeja, joilla on soluseinä. Sienistä suurin osa on monisoluisia, mutta esimerkiksi kotelosienten kaaren hiivat ovat yksisoluisia. Monisoluiset sienet suosivat rihmamaista kasvatapaa. Solun halkaisija on sienillä yleensä pienempi kuin kasveilla, mutta suurempi kuin bakteereilla tai arkeilla (noin 3-8 µm). Rihmojen avulla sienet leviävät tehokkaasti kasvualustassa ja tunkeutuvat vaikeidenkin esteiden läpi. Useimmat sienet leviävät myös itiöiden ja erilaisten lepomuotojen avulla. Itiöt voivat olla joko suvullisia tai suvuttomia.



Kuva 13. Aitojen sienten (*Fungi*) tämänhetkinen pääjako eri kaariin (*Tree of life* <http://tolweb.org/Fungi/2377>). Tärkeimmät kasvitautit kuuluvat kaariin Chytridiomycota, Zygomycota, Glomeromycota, Ascomycota ja Basidiomycota. Basidiomycota ja Ascomycota on nykyisin luokiteltu omaan Dikarya-haaraan sienten sukupuussa.

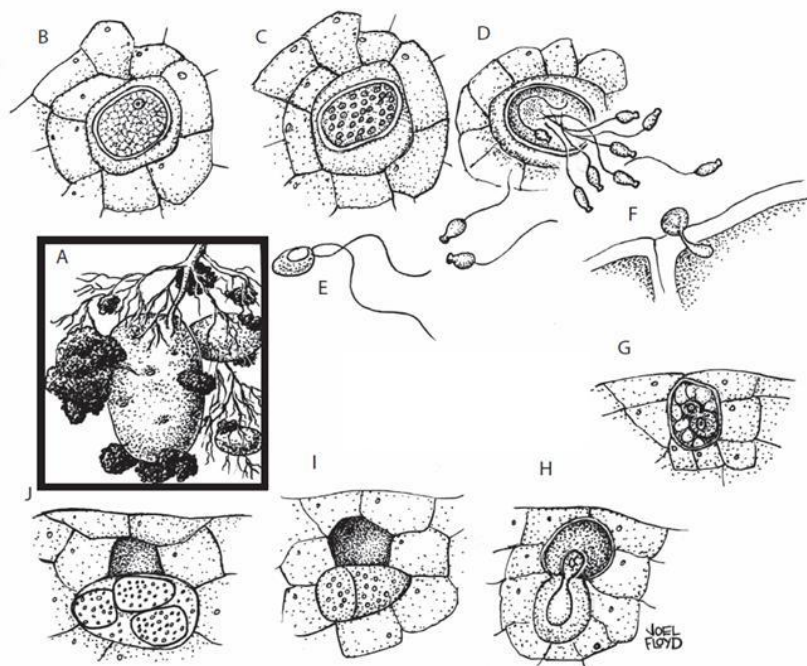
4.4.1 Kaari: *Chytridiomycota* – piiskasiimaiset, Luokka: *Chytridiomycetes*, Lahko: *Chytridiales*

Chytridiomycota-kaaren sienet ovat ekologisesti tärkeä eliöryhmä, jonka edustajat elävät saprofyytteinä vesistöissä ja maaperässä. Lajeja arvioidaan olevan noin 1000. Osa lajeista elää kasveja syövien eläinten mahalaukussa. Ryhmässä on muutama kasveissa loisiva laji. *Chytridiomycota*-sienten kasvullinen aste on väliseinäton sekovarsi, joka voi olla rakenteeltaan pyöreähkö solu tai monihaarainen rihmasto. Lepoitiöillä on kiinteä soluseinä, joka koostuu kitiinistä ja glukaanista. Kasvipatologisesti merkittävät lajit elävät isäntäsolun sisällä ja kestoasteet/lepoititöt säilyvät maassa.

Kaaren sienet lisääntyvät suvuttomasti yksisiimaisilla parveilutiöillä, jotka syntyvät itiöpesäkkeissä (sporangio). Nuori sporangio koostuu monitumaisesta solulimasta. Koko solulima jakautuu pieniksi osioiksi, joissa kussakin on vain yksi tuma. Jokainen osio erilaistuu yksisiimaiseksi parveilutiöksi. *Chytridiomycota*-kaari on ainoa sienikunnan ryhmä, jolla on itsenäisesti liikkuvia soluja.

Parveilutiöiden hienorakenteessa on useita ominaisuuksia, jotka erottavat tämän kaaren muista parveilutiöitä tuottavista eliöistä. Uintivaiheen jälkeen parveilutiö koteloituu kystaksi, josta kehittyy sporangio tietyillä lajeilla endogeenisesti ja toisilla eksogeenisesti. Endogeenisilla lajeilla tuma pysyy keskellä kystaa ja alkaa jakautua. Kysta alkaa turvota ja sen sisään erilaistuu yksi tai useita sporangioita. Eksogeenisilla lajeilla tuma siirtyy kystasta pullistuvaan iturihmaan, jossa se jakautuu ja tuottaa yhden tai useampia sporangioita. Suvullinen lisääntyminen tapahtuu useimmilla lajeilla parveilutiöiden yhtyessä, mutta lisääntymisen yksityiskohdat vaihtelevat suuresti eri lajeilla. Parveilutiöiden solulimojen yhtymisen jälkeen myös tumat yhtyvät, parveilutiö koteloituu ja muodostuu diploidi itiöpesäke, sporangio. Monilla lajeilla suvullisesti syntynyt sporangio on lepoaste, joka voi säilyä maassa vuosikausia.

Synchytrium- sukuun kuuluu noin 100 lajia, jotka ovat putkilokasvien loisia. Kaikki lajit loisivat kasvisolujen sisällä (endobioottinen) ja koko eliö muuttuu lisääntymiselimeksi (holokarppinen). Itiöpesäkkeen kärjessä on aukko, josta parveilutiöt vapautuvat. Sekovarsi on pesäkemäinen ja solun sisällys jakautuu suvullisiksi tai suvuttomiksi lisääntymisyksiköiksi, joita kaikkia ympäröi yhteinen kalvo. Rakennetta kutsutaan sorukseksi.



Kuva 14. *Synchytrium endobioticum* sienen elinkierto. Täydennä kaavioon eri vaiheet

Esimerkkipatogeeni: *Synchytrium endobioticum* (Schilb.) Percival

- Perunasyöpä on vaarallinen karanteenitauti, joka yleistyi Suomessa 1920-luvulla. Tiukoilla hävittämismääräyksillä tauti on lähes hävitetty Suomesta. EVIRA:n tarkastuksissa ei ole löytynyt uusia tapauksia yli 20 vuoteen.
- Suomessa on tavattu perunasyövästä vain patotyyppi 1, jota vastaan kaikki yleisimmin viljellyt perunalajikkeet ovat täysin kestäviä. Aivan viime vuosina Euroopasta on löydetty suuri määrä uusia patotyyppisiä, jota vastaan perunalla ei ole kestävyttä. Jos nämä uudet muodot pääsevät leviämään tuontiperunassa, syöpätilanne voi nopeasti muuttua.

4.4.2 Kaari: *Zygomycota* – yhtymäsienet

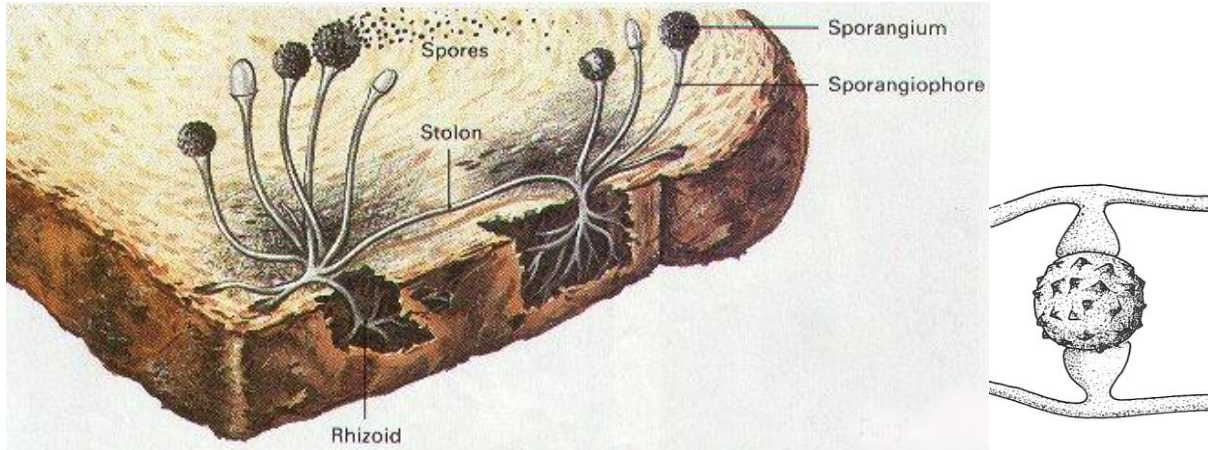
Zygomycota-kaaren asema sienten sukupuussa on hieman avoin, myöskään ryhmän sisäinen jaottelu ei ole vielä selkiytynyt. Kasvipatologian kannalta merkittävin sukuun haara on *Mucoromycotina*-ryhmä, josta haarautuva *Mucorales*-lahko on fylogeneettisesti yhtenäinen.

Useimmat *Mucoromycotina*-sienet elävät saprofyytteinä kasvijätteissä ja elintarvikkeissa. Ne eivät aiheuta varsinaisia kasvitauheita, mutta voivat pilata korjuukypsiä marjoja ja hedelmiä. Eräät lajit ovat eläin-, ihmis- tai sieniparasiitteja. Kasvipatologisissa töissä nämä ovat usein harmillisia kontaminaatioita, jotka häiritsevät tutkittavien sienten kasvua.

Mucoromycotina-sienten kasvullinen vaihe on monitumainen ja väliseinätön (kenosyyttinen) rihmasto. Soluseinä on kitiiniä. Suvuttomat itiöt syntyvät useimmiten itiöpesäkkeissä (sporangio), myös kuromia ja kätköitiötä (klamydospori) esiintyy. Yhtymäsienillä ei ole parveilutiöitä. Monilla lajeilla itiöpesäkkeessä on selvästi erottuva keskipatsas (kolumella). Suvulliset yhtymäitiöt (tsygosporit) syntyvät kahden sienirihman välille sienirihman pullistumisen ja sitä seuraavan solujen ja tumien yhtymisen tuloksena. Yhtymäitiöt ovat pallomaisia, paksuseinäisiä, ruskeita tai lähes mustia, nystermä- tai piikki-pintaisia kestoitiöitä. Väliseinä erottaa yhtymäitiön kasvullisesta rihmastosta.

Esimerkkilajeja:

'Hillohome' *Mucor mucedo* Fresen.
Leipähome, *Rhizopus stolonifer* (Ehrenb.) Vuill



Kuva 15. *Rhizopus stolonifer*, leipähome leviää nopeasti kasvualustallaan rönnyrihmojen (stoloni) avulla ja kiinnittyy juurimaisilla kiinnittymiselimillään (ritsoidi) alustaansa. Oikealla on kaaviokuva yhtymäitiöstä.

Harjoitus 8: *Zygomycetes*-sienten rakenteiden tarkastelua mikroskoopilla

Erillinen työohje - tavoite *Zygomycetes* sienten rihmaston ja pesäkeitiöiden rakenteita

4.4.3 Kaari: *Glomeromycota* – arbuskulaarimykoriisit, Lahko *Glomales*

Glomeromycota-kaarta pidetään fylogeneettisesti yhtenäiseltä ryhmältä sieniä, joka on hiljakkoin eriytetty *Zygomycota*-kaaresta. Kaareissa ei ole kasvitautinaiheuttajia, vaan kasvien ehdottomia symbiotteja, sienijuuria, VA-mykoriitsoja. Ne auttavat monia maakasveja veden ja ravinteiden otossa. Arbuskulaarimykoriitsojen muodostuessa juuren ulkonäkö ei pinnalta katsoen juurikaan muutu, eikä rihmasto muodosta paljain silmin havaittavaa vaippaa juuren ympärille.

Glomales-lahkoon kuuluvat mm. suvut *Acaulospora*, *Gigaspora*, *Glomus* ja *Scutellospora*. VA-mykoriitsoja käsitellään tarkemmin ektomykoriitsojen kanssa omana kokonaisuutenaan.

Kuva 16. VA-mykoriitsojen sienirihmat tunkeutuvat kasvin juurisolujen väleihin ja juurien kuorisolujen soluseinän läpi. Sienirihmastot eivät koskaan kasva johtosolukkaan tai solumembraanien sisäpuolelle kasvien solulimaan (symplastiseen tilaan). Arbuskulaari-mykoriitsoja on perinteisesti tunnistettu mikroskooppisesti tarkkailemalla juuriin muodostuvia puumaisesti haaroittuvia sienirihmoja (arbuskuleita) ja pullistuneita varastosienirihmoja (vesikkeleitä). Ryhmän fylogeneettinen luokittelu on vielä alkutekijöissään, mutta ryhmä näyttää hyvin yhtenäiseltä.



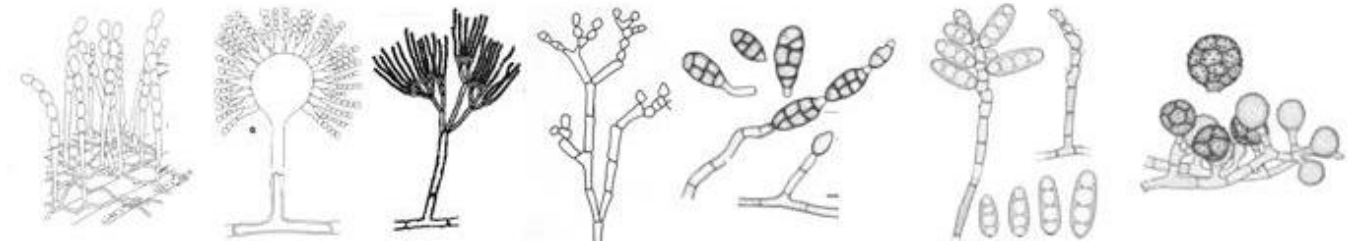
4.4.4 Sukuhaara: *Dikarya*, Kaari: *Ascomycota* – kotelosienet

Ascomycota -kaari on sienikunnan runsaslajisin ryhmä, johon kuuluu rakenteeltaan erilaisia eliöitä yksisoluisista hiivoista suurikokoisia itiöemiä tuottaviin korvasieniin. Kotelosieniin kuuluvat lajit ovat sopeutuneet erilaisiin ympäristöoloihin ja niitä löytyy kaikkialta maapalloilta. Myös valtaosa tärkeimmistä kasvipatogeeneista sijoittuu kotelosieniin. Nykyisin kotelosienet luokitellaan kolmeen alakaareen: *Taphromycotina*, *Saccharomycotina* ja *Pezizomycotina*.

Kotelosienten kasvullinen vaihe on monisoluisuinen, kitiiniä (harvoin selluloosaa) sisältävä haploidi sienirihmasto. Miltei kaikki kotelosienet tuottavat kasvullisessa rihmastossaan kuromankannattimia, joissa suvuttomasti syntyvät kuromaitiöt muodostuvat. Kasvullisesta rihmastosta erilaistuu *Pezizomycotina*-alakaaren lajeilla itiöiden suojaksi erilaisia itiöemiä, jotka puolestaan ovat erikoistuneet tuottamaan suvullisia itiömuotoja. Lajeja, joilla on suvullinen (teleomorfi) ja suvuton kehitys (anamorfi), kutsutaan pleomorfisiksi. Lajeja, joiden suvullista kehitystä ei tunneta, kutsutaan anamorfisiksi (tai mitoottisiksi) lajeiksi.

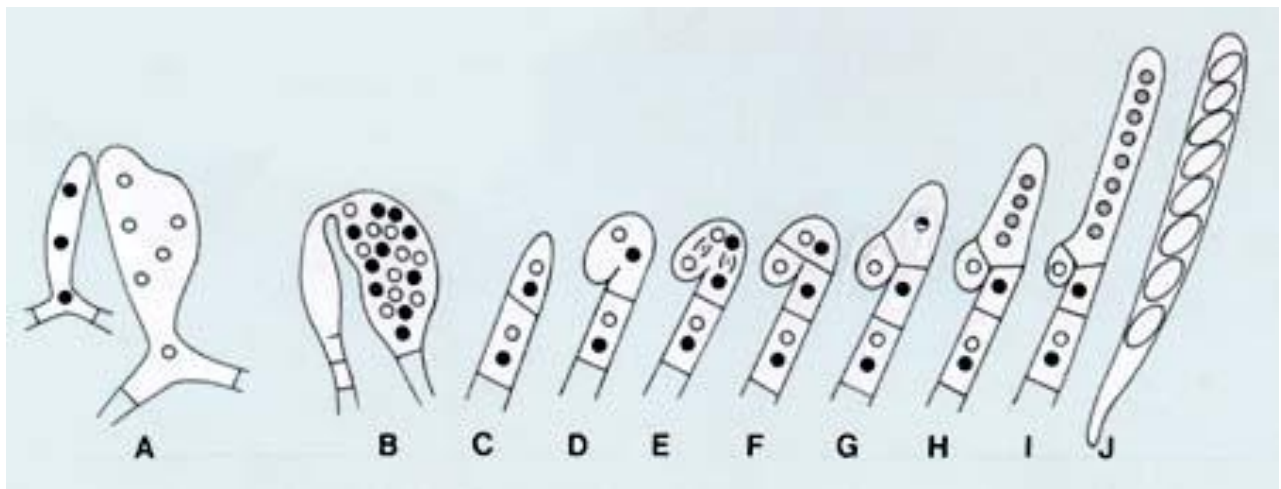
Kotelosienten fylogeneettisen luokittelun suurimpia saavutuksia on se, pleomorfiset ja anamorfiset lajit voidaan nyt yhdistää todellisten geneettisten sukulaisuusuhteiden mukaisesti ryhmiin ja samalla päästä eroon keinotekoisista, alun perin tilapäisiksi tarkoitetuista taksonomisista yksiköistä. Monissa oppikirjoissa noudatetaan vielä vanhaa jakoa, jossa kaikki anamorfiset lajit pidetään täysin omana ryhmänä.

Useimmat kasvipatogeeniset kotelosienet tuottavat kasvukauden aikana sienirihmaston erilaistuneissa kuromankannattimissa (konidiophori) useita sukupolvia suvuttomia kuromaitiöitä (konidio), jotka varmistavat tautiepidemian etenemisen. Rihmastoon voi erilaistua myös suvuttomia kätköitiöitä, joiden tarkoitus on säilyttää laji isäntäkasvittoman vuodenajan yli. Monilla lajeilla suvuton kehitysvaihe aiheuttaa varsinaisen kasvitautin ja suvullinen kehitys tapahtuu kasvijätteissä, kuten oljissa ja maahan varisseissa lehdistä.



Kuva 17. Erilaisia kotelosienten suvuttomia kuromankannattimia ja kuromatyypppejä

Useimmilla lajeilla, joilla on suvullinen kehitysvaihe, sen epidemiologinen merkitys on vähäinen. Suvulliset itiöt (koteloitiöt) muodostuvat enintään kerran vuodessa ja joillakin lajeilla niitä saadaan aikaan vain laboratorio-oloissa. Suvullinen lisääntyminen tuottaa kuitenkin jälkeläisiin valtavasti perinnöllistä muuntelua ja auttaa patogeenia sopeutumaan nopeasti muuttuviin olosuhteisiin. Suvullisen lisääntymisen takia monet kasvipatogeenit pystyvät murtamaan nopeasti kasvinjalostajien viljelykaveihin risteyttämät uudet kestävyysgeenit tai kehittymään immuuneiksi kemiallisille kasvinsuojeluaineille.



Kuva 18. A. Suvullisessa lisääntymisessä monilla kotelosienillä kaksi paritumiskykyistä rihmastoaa muodostaa rakkomaisen sukuelimen, munapesäkkeen (askogonio) ja siittiöpesäkkeen (anteridio). B. Kun nämä joutuvat kosketuksiin toistensa kanssa, koiraspuolisesta anteridiosta siirtyy tumia naaraspuoliseen askogonioon. C. Askogoniosta kasvaa kaksitumaisia sienirihmoja (askogeeniset rihmat). D. – I. Askuksen valmistumista edeltää hakamuodostus askogeenisissa rihmoissa, mikä varmistaa sen, että päätesoluun tulee sekä koiras- että naarastumat. J. Päätesoluista erilaistuvat pussimaiset itiökotelot (askus), joiden sisällä muodostuvat suvulliset koteloitiöt (askospori).

Nuori itiökotelo on diploidi. Välittömästi tumien yhtymisen jälkeen tapahtuu reduktiojako, joten kotelosienten diploidi vaihe on hyvin lyhyt (poikkeuksena *Taphrinomycotina* ja *Saccharomycotina*).

4.4.4.1 Alakaari: *Taphrinomycotina*, paljaskoteloiset

Taphrinomycotina-alakaaren *Taphrinales*-lahkossa on harvoin isäntäkasveihin erikoistuneita kasvien ehdottomia loisia, joiden rihmastollinen vaihe aiheuttaa tyypillisesti erilaisia kasvaimia tai tiettyjen kasvinosien epänormaalia kasvua. Lajien taloudellinen merkitys on vähäinen, mutta on hyvä tietää, että useimmille ihmisille tuttu koivuntuulenpesän aiheuttaa *Taphrina betulina*-sieni. *Taphrinales*-lajeilla on myös hiivamaisia vaihteita, jotka voivat elää saprofyteinä erilaissa ravintolähteissä. Kasvullista sienirihmastoja nämä lajit tuottavat niukasti eikä itiökoteloiden suojana ei ole itiöemää. Itiökotelon seinä repeää ohuimmasta kohdasta itiöiden purkautuessa.

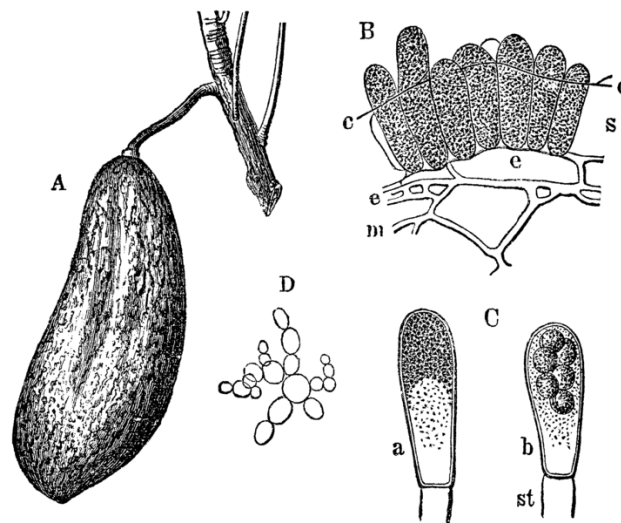
Esimerkkipatogeeneja:

Koivuntuulenpesä, *Taphrina betulina* Rostr.

- Luonnossa yleinen, ei suurta taloudellista merkitystä

Luumunpussitauti, *Taphrina pruni* Tul.

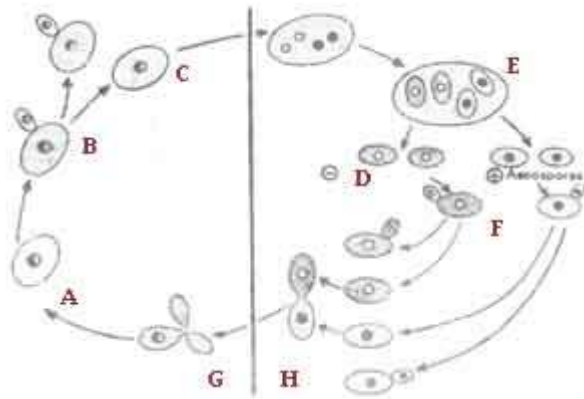
- Ei suurta taloudellista merkitystä
- Joskus löytyy tuomen marjoista



Kuva 19. Luumunpussitaudin elinkierto

4.4.4.2 Alakaari: *Saccharomycotina* – hiivamaiset kotelosienet

Kotelosieniin kuuluvilla hiivoilla on suuri merkitys elintarviketeollisuuden prosessien kautta jokaiselle ihmiselle. Hiivasienten kykyä tuottaa sokereista hiilidioksidia ja alkoholeja on hyödynnetty esimerkiksi leivän, oluen ja viinien valmistuksessa. Tunnetuin laji lienee *Saccharomyces cerevisiae* Meyen.: E.C. Hansen, leivinhiiva. Hiivasienet eivät ole varsinaisesti kasvipatogeeneja, mutta ne voivat pilata monia arkipäivän elintarvikkeita, kuten muovipussiin pakattua pestyä porkkanaa.



- A. Diploidi kasvullinen solu
- B. Silmikointi
- C. Meioosi
- D. - Askosporit
- E. Valmis itiökotelo
- F. + Askosporit
- G. Tumien yhtyminen
- H. Tumien pariutuminen

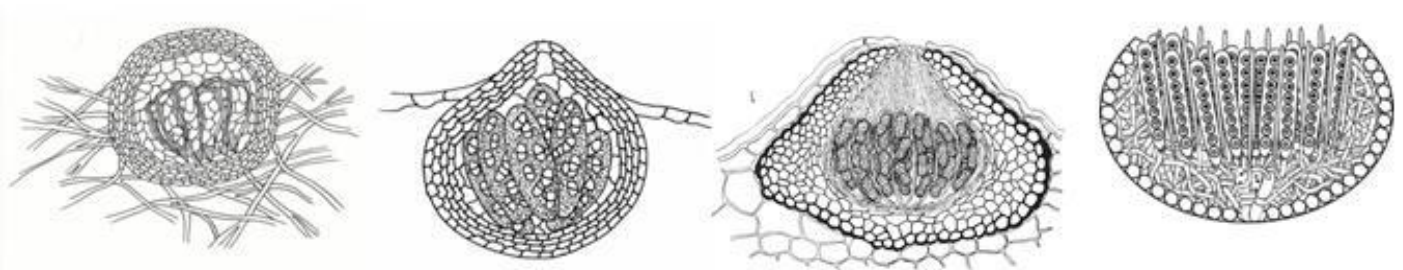
Kuva 20. Hiivasiemen elinkierto

Hiivasienillä ei ole varsinaisesti kasvullista sienirihmastoja. Hiivasolut lisääntyvät kasvullisesti silmikoinnalla. Kasvullisen solun (diploidi) pintaan muodostuu pullistuma, joka kasvaa ja irtoaa uudeksi diploidiksi soluksi. Tämä solu voi edelleen silmikoida tai se voi erilaistua itiökoteloksi. Hiivoilla ei ole itiökoteloita suojaavia itiöemiä. Hiivojen soluseinien koostumus poikkeaa muista sienistä sikäli, että kitiinin osuus on pieni verrattuna glukaaniin ja mannaaniin.

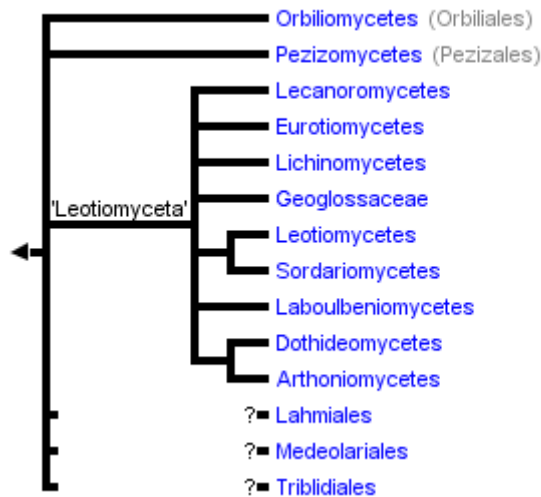
4.4.4.3 Alakaari: *Pezizomycotina* – itiöemiä muodostavat kotelosienet

Useimmilla kotelosienillä on itiökoteloiden suojana haploidin sienirihmaston muodostama itiöemä (askoma, askokarppi). Se voi olla ilman suuaukkoa oleva **kotelorakko** (kleistoteekio), pullomainen ja suuaukolla avautuva **kotelopullo** (periteekio) tai maljamainen (yläpinnalta avoin) **kotelomalja** (apoteekio). Lisäksi on ryhmä kotelosieniä, joilla ei ole todellista itiöemää, vaan itiökotelot syntyvät perussolukon sisälle muodostuviin lokeroihin. Tätä kutsutaan **valekotelopulloksi** (pseudoteekio).

Aiemmin kotelosienten ryhmittely perustui itiöemien rakenteisiin ja itiökoteloiden sekä kotelotiöiden hienorakenteisiin. Fylogeneettinen luokittelu ei onneksi ole kovin paljoa muuttanut perinteistä järjestelmää. Olellisin ero on, että lajit, joilla ei ole suvullista vaihetta, saadaan nyt ryhmittymään oikeiden sukulaisten joukkoon.



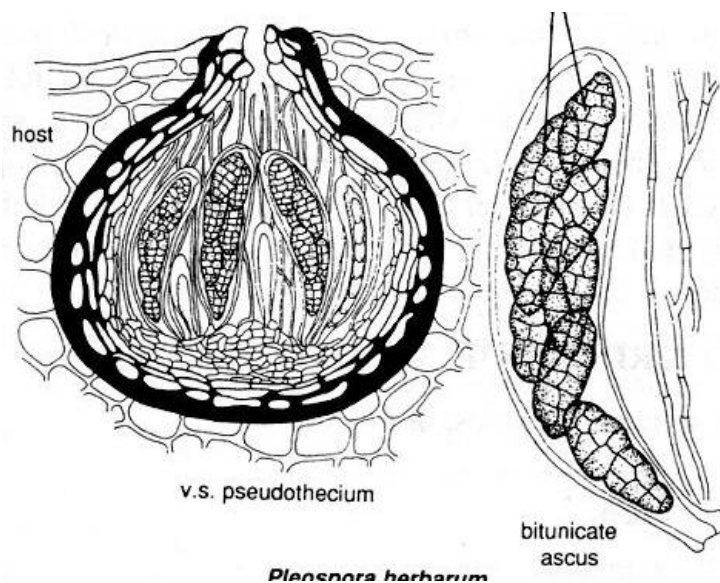
Kuva 21. Kotelosienten itiöemätyyppejä



Kuva 22. Pezizomycotina-alakaaren tärkeimmät luokat.

4.4.4.3.1 Luokka: *Dothideomycetes* – valekotelopulloja tuottavat kotelosienet

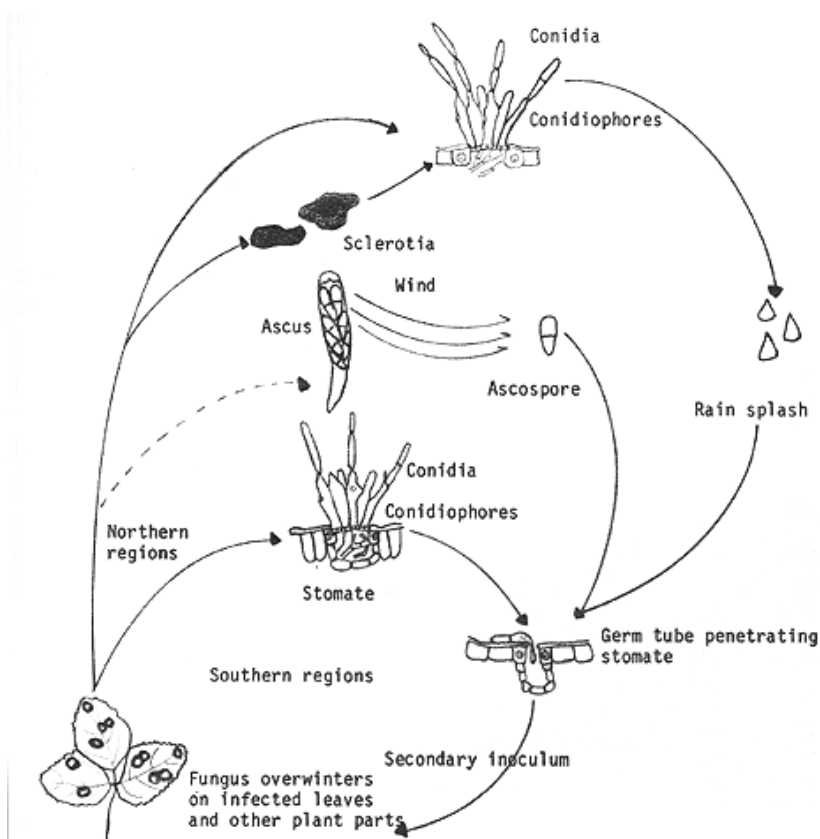
Dothideomycetes-luokkaan kuuluu kaksi kasviptologisesti merkittävää lahkoa: ***Capnodiales*** ja ***Pleosporales***. Luokan anamorfisiet kehityasteet aiheuttavat tyypillisesti erilaisia kuoliolaikkuja isäntäkasvien lehtiin, varsiin ja satotuotteisiin. Joukossa on useita varastoitavia juureksia ja mukuloita pilaavia patogeeneja. Valtaosa lajeista on erikoistunut yhteen tai muutamaan isäntäkasviin. Luokan lajit enimmäkseen ehdollisia loisia: ne tappavat tuottamallaan solumyrkyillä isäntäkasvin solukoita ja käyttävät tuhoamaansa isäntäkasvin solukkoa ravinnokseen. Kotelostaat kehittyvät useimmiten kasvijätteissä tai talvehtivissa kasvinosissa kasvukausien välisenä aikana ja ne toimivat usein epidemian alkulähteenä keväällä, jonka jälkeen epidemian etenemismuhti riippuu anamorfisten kehitysvaiheiden lisääntymisnopeudesta.



Kuva 22. *Dothideomycetes* rakenteita

Luokan anamorfiset itiöt syntyvät joko rihmastoon erilaistuvissa kuromankannattimissa tai kuromapulloissa. Miltei kaikilla tämän luokan kasvipatologisesti merkittäville lajeille kuromankannattimet ja kuromaitiöt sisältävät tummia pigmenttejä, eli mikroskoopilla tarkasteltuna ne ovat ruskeita tai lähes mustia. Kuromapullot ovat kasvullisen sienirihmaston tuottamia suojarakenteita, joiden sisällä syntyy yksi-, kaksi- tai monisoluisia kuromaitiöitä.

Koteloasteelle luokan yhteinen rakenneominaisuus on lokerokoteloineen itiöemä, valekotelopullo, askostrooma tai pseudoteekio. Tämä tarkoittaa, että haploidi sienirihmasto alkaa tuottaa rakenteeltaan erilaistumatonta tiivistä perussolukkoa, jossa on erilaisia onkaloita. Onkaloiden sisällä on soluryhmiä, joiden tehtävänä on tuottaa itiökoteloita. Askukset syntyvät kiinteään solukon (askostrooma) lokeroihin yksittäin tai ryhminä. Yksilokeroisesta askostroomasta käytetään usein nimeä valekotelopullo (pseudoteekio). Itiökotelon seinä on kaksikerroksinen (bitunikaatti). Itiökotelon uloin kerros on jäykkä ja venymätön, sisin kerros joustava ja sen kärkeen syntyvän aukon kautta askosporit sinkoavat ulos askuksesta.



Kuva 23. Mansikanrengaslaikun elinkierto

Harjoitus 9: Lehtilaikkutauteja aiheuttavien Dothideomycetes-sienten oireita ja mikroskooppisia rakenteita

Erillinen työohje - tavoite tunnistaa erilaisia lehtilaikkutautien aiheuttajia oireiden ja suvuttomien lisääntymiselinten perusteella

Canopdiales-lahkon esimerkkitauteja:

Tämän lahkon kasvipatogeenit lajit aiheuttavat kullekin isäntäkasville hyvin lajityypillisiä kuoliolaikkuja, ja ne ovat tunnistettavissa varsin luotettavasti pelkästään oireiden perusteella

Mansikanrengaslaikku, *Mycosphaerella fragariae* (Tul.) Lindau, in Engler & Prantl
anamorfi, *Ramularia tulasnei* Sacc.

Vehnänharmaalaikku, *Mycosphaerella graminicola* (Fuckel) J. Schröt.
anamorfi, *Septoria tritici* Berk. & M.A. Curtis

Herneenlehtilaikku, *Mycosphaerella pinodes* (Berk. & A. Bloxam) Vesterg.
anamorfi, *Ascochyta pinodes* L.K. Jones

Herukanharmaalaikku, *Mycosphaerella ribis* (Fuckel) Lindau, (1903)
anamorfi, *Septoria ribis* (Lib.) Desm.

Anamorfisia lajeja:

Cladosporium-suvusta tunnetaan noin 500 lajia. Useimmat suvun lajit ovat yleisiä kuoleella tai lahoavalla kasviaineksella esiintyviä saprofyyttejä. *Cladosporium*-sienet ovat yleisimpiä ilmaväntäisiä sieniä. Kuromaitiöt leviävät helposti ilmavirtausten mukana.

Kuromat ovat kellertäviä, nystermäpintaisia, yksi- tai kaksisoluisia, haaroittuvissa ketjuissa.

Passalora spp.

Cercospora spp.

Ramularia spp.

Septoria spp.

Pleosporales-lahkon esimerkkitauteja:

Vehnänruskolaikku, *Phaeosphaeria nodorum* (aiemmin *Leptosphaeria nodorum*),

(kuroma-aste *Stagonospora nodorum*, aiemmin. *Septoria nodorum*)

Sieni aiheuttaa vehnän lehtiin aluksi keltaisia pilkkuja, jotka muuttuvat myöhemmin epäsäännöllisiksi laikuiksi. Sieni on sateisina kesinä huomattava sadonalennuksen aiheuttaja vehnällä. Tauti vioittaa toisinaan pahasti myös vehnäntähkiä. Viime vuosina vehnän DTR-laikku (*Pyrenophora tritici-repentis*) on yleistynyt ja nämä kaksi tautia löytyvät usein samanaikaisesti samoista lehdistä. Käytännössä näitä kahta tautia ei pysty erottamaan toisistaan ilman laboratoriomäärityksiä. Tauteja torjutaan kemiallisilla kasvinsuojeluaineilla. Suorakylvö ja yksipuolistunut viljely ovat lisänneet näiden tautien merkitystä

Ohrantyvi- ja lehtilaikku, *Cochliobolus sativus* (S. Ito & Kurib.) Drechsler:Dastur

anamorfi, *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker

Kauranlehtilaikku, *Pyrenophora chaetomioides* Speg.

anamorfi, *Drechslera avenae* (Eidam) Scharif

Ohranviurutauti, *Pyrenophora graminea* S. Ito & Kurib.

anamorfi, *Drechslera graminea* (Rabenh. ex Schltldl.) Ito

Ohranverkkolaikku, *Pyrenophora teres* Drechsler

anamorfi, *Drechslera teres* (Sacc.) Shoemaker

Vehnänlehtilaikku (DTR-laikku), *Pyrenophora tritici-repentis* (Died.) Drechsler

anamorfi, *Drechslera tritici-repentis* (Died.) Shoemaker

Omenarupi, *Venturia inaequalis* (Cooke) G. Winter

anamorfi, *Spilocaea pomi* Fr.

Vadelmanversotauti, *Didymella applanata* (Niessl) Sacc.

anamorfi, *Phoma argillacea* (Bres.) Aa & Boerema

Kurkunmustapistemätä, *Didymella bryoniae* (Fuckel) Rehm

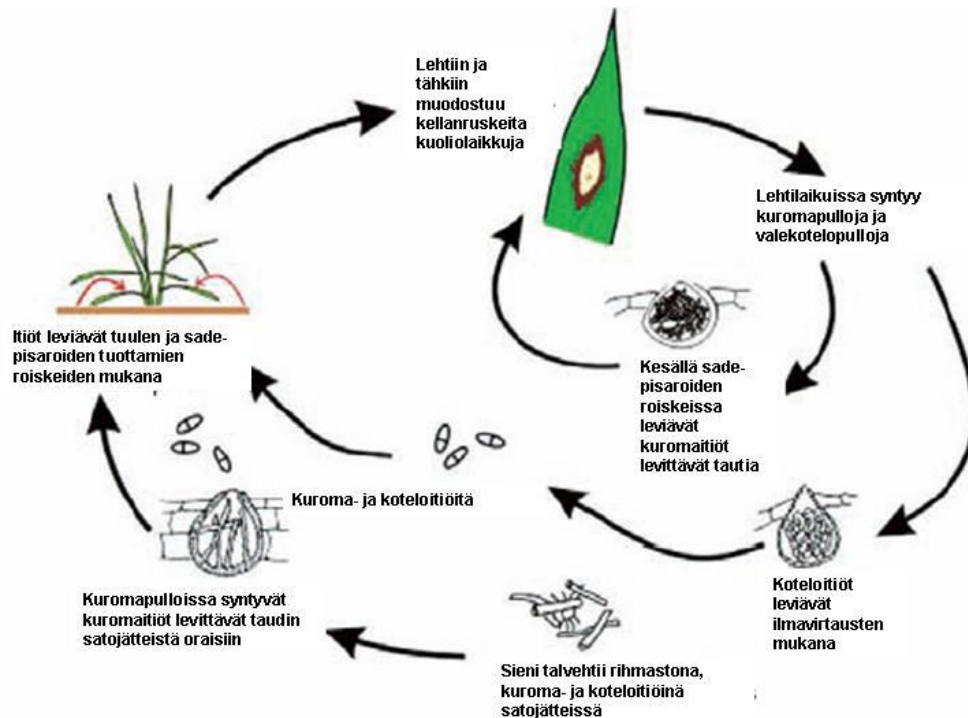
Phoma cucurbitacearum (Fr.) Sacc.

Kuoppalaho, *Boeremia exigua* (Desm.) Aveskamp, Gruyter & Verkley

anamorfi, *Phoma exigua* var. *exigua* Sacc.

Kuoppalaho, *Boeremia foveata* (Desm.) Aveskamp, Gruyter & Verkley

anamorfi. *Phoma exiaua* var. *foveata* (Foister) Boerema



Kuva 24. Vehnänlehti- ja tähkälaikun elinkierto

Harjoitus 10: Viljojen lehtilaikkutautien ja niitä aiheuttavien kotelosienten tunnistus

Erillinen työohje - tavoite tunnistaa erilaisia viljojen lehtilaikkutautien aiheuttajia oireiden ja suvuttomien lisääntymiselinten perusteella

Pleosporales-lahkon esimerkkitauteja:

Anamorfisia lajeja:

Alternaria alternata (Fr.) Keissl.

Alternaria spp.

Epicoccum nigrum Link, Mag. Gesell.

Ulocladium consortiale (Thüm.) E.G. Simmons

Harmaahilse, *Helminthosporium solani* Durieu & Mont.

Porkkananmustamätä, *Mycocentrospora acerina* (R. Hartig) Deighton

Herneenlehtilaikku, *Ascochyta pisi* Lib.

Herneenlehtilaikku, *Phoma pinodella* (L.K. Jones) Morgan-Jones & K.B. Burch

Phoma spp.

Phoma-suvusta on kuvattu yli 2000 lajia, jotka ovat pääasiassa saprofyyttejä. Joitakin taudinaiheuttajia tunnetaan kuten *P. betae*, *P. foveata*, *Leptosphaeria maculans* (anamorfi *P. lingam*), *Didymella lycopersici*, (anamorfi *P. lycopersici*). Kuromapullot ovat useimmiten isäntäkasviin uppoutuneita, lähes pallomaisia ja suuaukolla avautuvia. Kuromat ovat 1-soluisia ja värittömiä.

Patogeeniset *Phoma*-lajit aiheuttavat taimipoltetta ja lehtilaikkutauteja. Niitä esiintyy myös satotuotteiden, kuten juuresten ja mukuloiden, pilaajina varastoissa.

Harjoitus 11: Anamorfisten Pleosporales-lahkon lajien tunnistusta

Erillinen työohje - tavoite tunnistaa erilaisia kuromaitiöiden rakenteita ja hahmottaa kuromaitiöiden erilaisia muodostumistapoja

Pleosporales -lahkon esimerkkitauteja:

Pyrenophora graminea, viirutauti

(kuroma-aste *Drechslera graminea*, syn. *Helminthosporium gramineum*)

Pyrenophora teres, ohranverkkolaikku

(kuroma-aste *Drechslera teres*, syn. *Helminthosporium teres*)

Molemmat lajit aiheuttavat lehtilaikkuja ohrassa. Näiden sienten koteloasteet, valekotelopullot, ovat harvinaisia eikä niillä ole merkitystä sienen elämänkierrossa. Koteloitiöissä on sekä pitkittäisiä että poikittaisia väliseiniä. Yksilokeroisessa valekotelopullossa on pseudoparafyysejä (steriilit rihmat askostroomassa kiinnittyvät itiöemän ylä- ja alaosaan). Kuromaitiöissä on vain poikittaisia väliseiniä.

Pleosporales -lahkon esimerkkitauteja:

Alternaria

Alternaria-suvussa on useita kasvitauteja aiheuttavia lajeja, joista monet ovat isäntäkasvispesifejä ja siemenlevintäisiä. Jotkut lajit ovat kaikkialla esiintyviä ja yleisiä maasieniä.

Kuromat ovat monisoluisia, pitkittäis- ja poikittaisväliseinäisiä. Ne muodostavat useamman solun ketjuja.

Pleosporales -lahkon esimerkkitauteja:

Mycocentrospora acerina, mustamätä

Sieni aiheuttaa taimipoltetta ja lehtilaikkuja sekä vioittaa monien kasvien etenkin sarjakukkaisten juuria. Se on erityisen haitallinen porkkanalla, sillä porkkana voi saada tartunnan kaikissa kasvuvaiheissa.

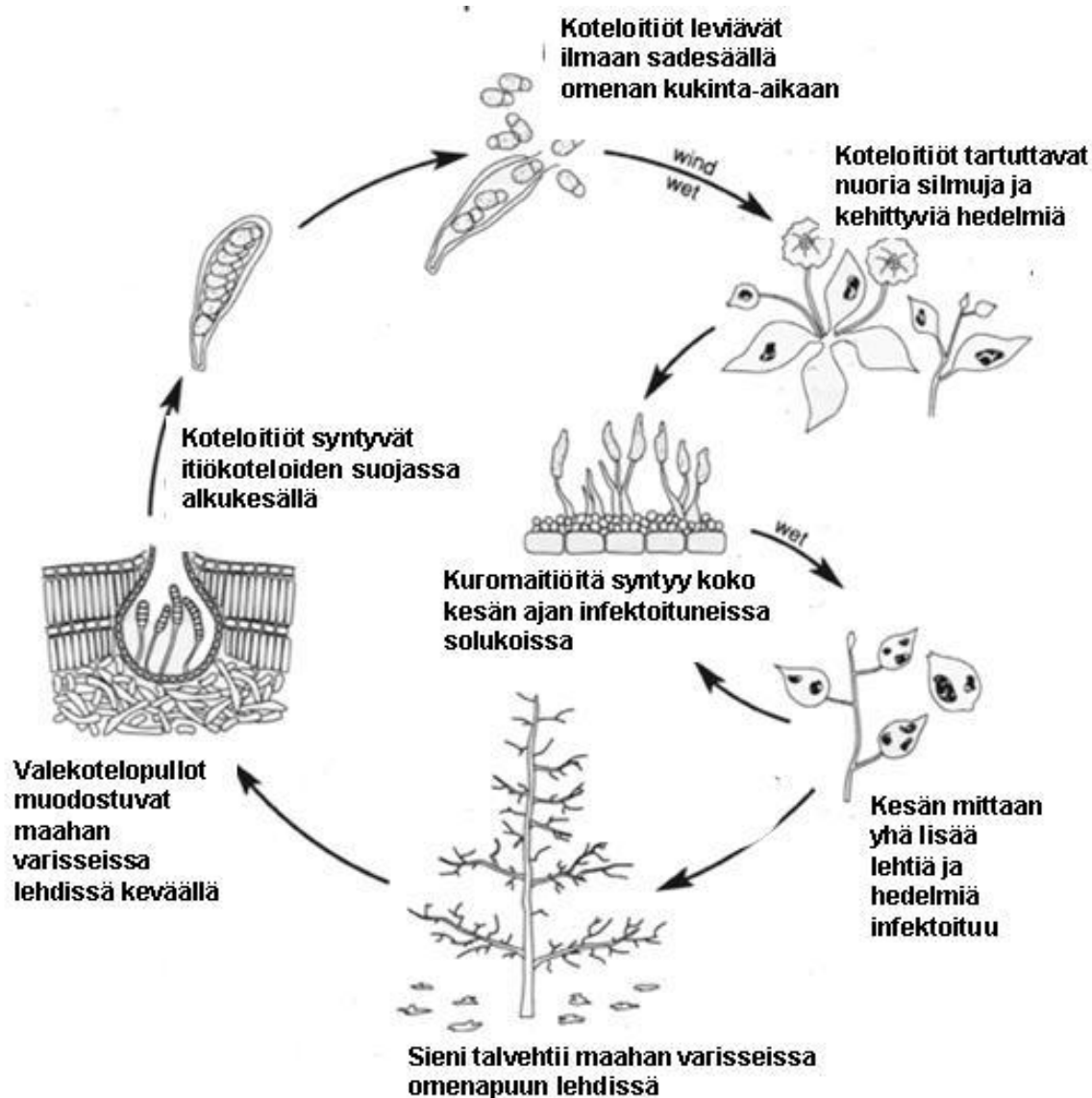
Sienelle on luonteenomaista monisoluiset, tummanruskeaseinäiset kätköitiöt, jotka muodostuvat sienirihmoihin usean solun ketjuna. Kuromaitiöitä muodostuu yleensä niukasti. Ne ovat lähes värittömiä, pitkänomaisia ja monisoluisia.

Pleosporales -lahkon esimerkkitauteja:

Venturia inaequalis, omenarupi

(kuroma-aste *Spilocaea pomi*)

- Sieni aiheuttaa laikkuja omenapuun lehtiin ja hedelmiin. Pullomaiset itiöemät muodostuvat kuolleisiin lehtiin. Koteloitiöt ovat kaksisoluisia, munanmuotoisia, lähes värittömiä. Kuroma-aste on taudin aiheuttava vaihe.
- Taudin leviämistä ehkäistään korjaamalla rupilaikkuiset lehdet ja omenat pois.
- Sienitautien hävittämiseen sopii ureaa sisältävä liuos (esimerkiksi Tehokomposti), joka nopeasti lahottaa maahan varisseet lehdet, jolloin itiöiden kasvutila kutistuu ja vähitellen häviää.
- Ammattiviljelmillä omenarupi torjutaan kemiallisilla kasvinsuojeluaineilla
- Omenaruvien torjuntatarve ja oikea ajoitus voidaan arvioida säätietojen itiöleppien tarkkailun avulla hyvinkin tarkasti



Kuva 25. Omenaruven elinkierto

4.4.4.3.2 Luokka: *Eurotiomycetes* – kotelorakkoja tuottavat kotelosienet

Itiöemä on useimmiten kotelorakko. Itiökotelot ovat kotelorakon sisällä. Itiökotelon ohuet ja hauraat seinät murtuvat koteloitiöiden vapautuessa. Suvuttomat itiöt vallitsevat kotelo-rakkoisten elinkierrossa. Lajit eivät ole tärkeitä kasvipatogeeneja, mutta niillä on merkitystä satotuotteiden ja elintarvikkeiden pilaajina. Joukossa on myös vaarallisia mykotoksiinien, homemyrkköjen tuottajia.

***Eurotiales* -lahkon esimerkkilajeja:**

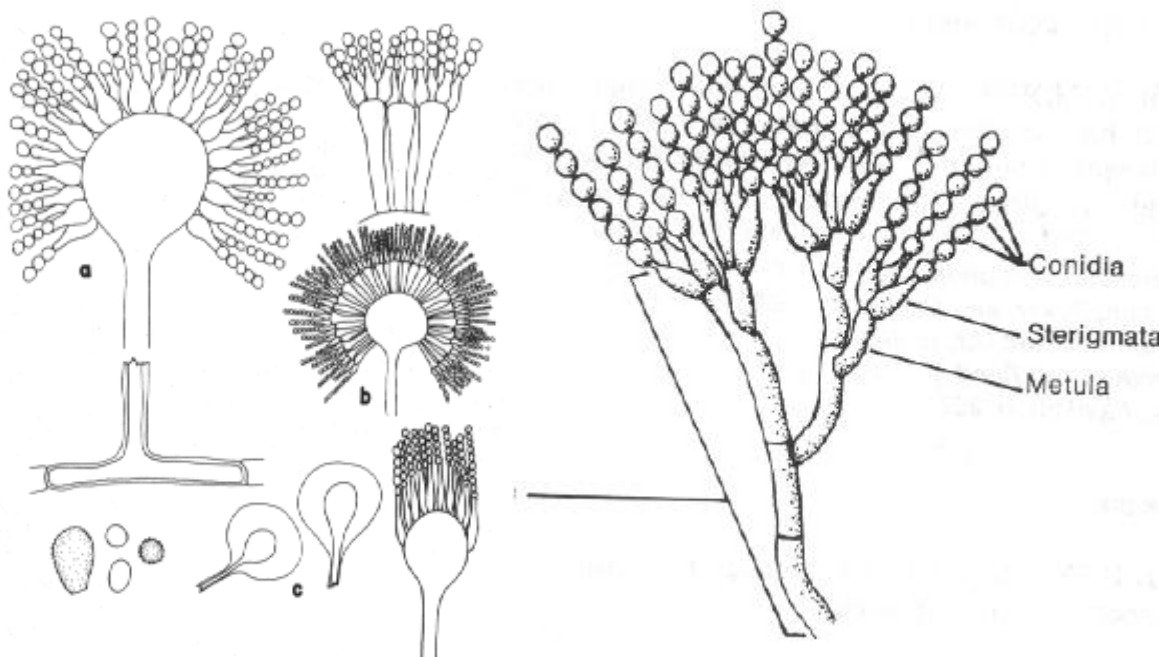
Eurotium, *Emericella*, yleensä anamorfeina: *Aspergillus* spp. (nuijahomeet)

- Kuromankannattimet ovat yläosastaan nuijamaisesti paksuuntuneita, josta suuntautuu ulospäin kuromia muodostavat solut (fialidi). Yksisoluiset kuromat muodostavat kuromaketjuja.
- Useimmat nuijahomeet ovat saprofyyttejä.
- Eräät lajit ihmis- ja eläinpatogeeneja (*Aspergillus niger* Tiegh., *A. fumigatus* Fresen.)
- Mykotoksiinien muodostajia (*Aspergillus flavus* Link => aflatoksiineita)
- Eräitä lajeja käytetään mm. soijakastikkeen ja riisiviinan (sakén) valmistuksessa.

Eurotiales -lahkon esimerkkilajeja:

Talaromyces, *Eupenicillium* yleensä anamorfeina: *Penicillium* spp. (pensselihomeet) ja *Paecilomyces* spp.

- Kuromankannattimet ovat yläosastaan pensselimäisesti yhteen tai useampaan kertaan haaroittuneita. Kuromat muodostuvat ketjuina fialideissa.
- Useimmat pensselihomeet ovat väriltään vihreitä.
- Yleisiä hedelmien ja ruokatavaroiden pilaajia.
- Eräät muodostavat mykotoksiineja.
- Toisia käytetään hyväksi juustojen valmistuksessa ja toiset tuottavat antibiootteja.



Kuva 26. *Aspergillus* lajien nuijamaisia ja *Penicillium* lajien pensselimäisiä kuromankannattimia ja yksisoluisten kuromien jonoja

Harjoitus 12: *Penicillium* ja *Aspergillus*-lajien vertailua

Erillinen työohje - tavoite tunnistaa erilaisia kuromaitiöiden rakenteita ja hahmottaa kuromaitiöiden erilaisia muodostumistapoja

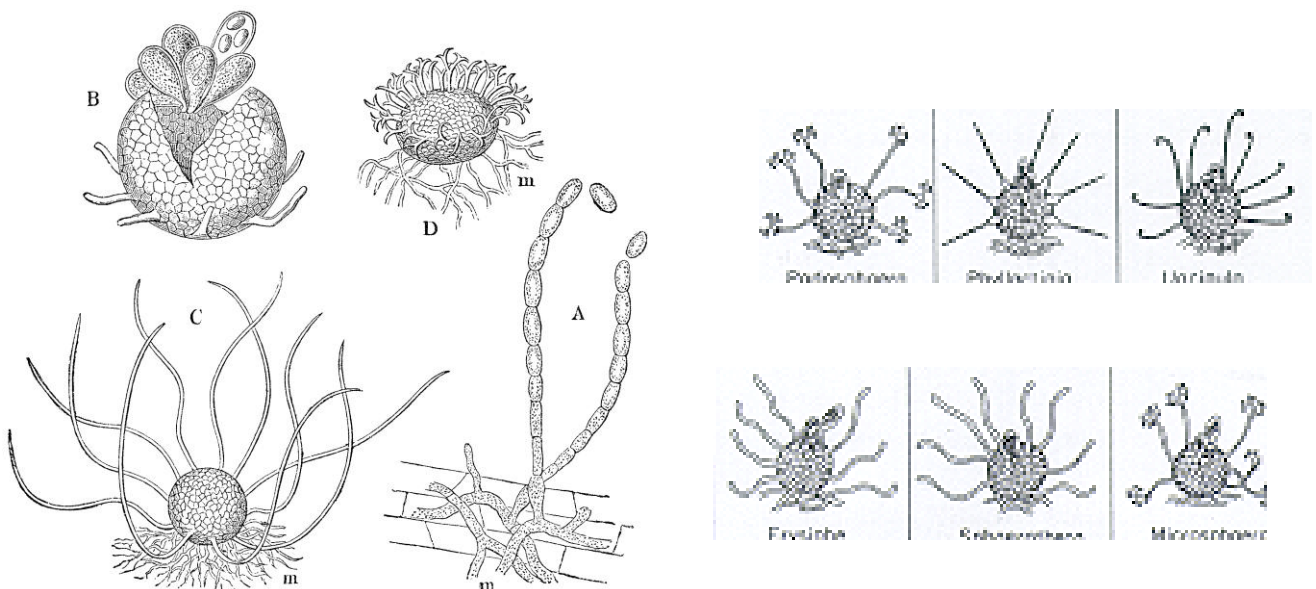
4.4.4.3.3 Luokka: *Leotiomyces* – härmät ja kotelomaljaiset sienet

Leotiomyces-luokkaan kuuluu kaksi kasvipatologisesti merkittävää lahkoa: ***Erysiphales*** (härmäsienet) ja ***Helotiales*** (kotelomaljaiset sienet). Aiemmin *Erysiphales*-lahko ryhmiteltiin rakkomaisen itiöemän perusteella *Eurotiomyces*-luokkaan. Monet *Erysiphales*-lahkon yksittäiset lajit on hiljakkoin ryhmitelty ja nimetty uudelleen (Glawe, 2008). Valtaosalla kasvipatogeeneistä *Leotiomyces*-sienistä on luonnossa verraten yleinen suvullinen kehitysaste. Monilla tämän luokan lajeista anamorfisella vaiheella ei ole epidemiologista merkitystä tai se on vähäisempi kuin

useilla muilla kotelosienten luokilla. Kasvipatogeenit *Leotiomyces*-sienet ovat joko kasvien ehdottomia loisia tai ne pystyvät hyödyntämään paremmin elävää isäntäkasvin solukkoa kuin kasvinjätteitä.

Erysiphales -lahkon esimerkkitauteja:

- Härmäsienet ovat kasvien ehdottomia pintaloisia. Ne ottavat ravintonsa imurihmoilla kasvisoluista.
- Härmätaudit näkyvät kasvien pinnalla aluksi valkoisena, huopamaisena kasvustona, joka koostuu sienirihmastosta ja kuromaitiöistä
- Kaikkien härmäsienten kuroma-asteet (*Oidium* spp.) ovat hyvin samannäköisiä. Rakenteeltaan yksinkertaiseen kuromankannattimeen muodostuu jonoina yksisoluisia kuromaitiöitä, jotka levittävät kasvukaudella tautia hyvin nopeasti ja tehokkaasti.
- Kun kasvin elinvoima alkaa heiketä ja härmäsienille sopivat kasvin yhteyttämistuotteet alkavat vähetä, sienirihmasto alkaa muuttua ruskeaksi ja siihen kehittyy rakkomaisia itiöemiä, jotka näyttävät mustilta tai tummaruskeilta pisteiltä.
- Kotelorakon sisälle kehittyy yksi tai useampia itiökoteloita (askus).
- Härmälajeja pystytään tunnistamaan mikroskoopilla kotelorakon pinnalla kasvavien pintarihmojen rakenteen perusteella.
- Eri härmäsienten oireet ovat hyvin samanlaisia isäntäkasvista riippumatta, mutta eri lajit ovat pitkälle erikoistuneet harvoin kasvilajeihin, jopa lajikkeisiin.
- Härmäsienten hyökkäykset käynnistävät taudille aroissa isäntäkasveissa paljon energiaa kuluttavia puolustusreaktioita, jotka usein verottavat kasvin kasvua ja elinvoimaa paljon enemmän kuin taudin silmännähtävästä määrästä voisi päätellä.
- Härmätauteja torjutaan viljelemällä taudinkestäviä lajikkeita. Koska härmät tuottavat valtavia määriä suvuttomia ja suvullisia itiöitä kasveihin jalostettu taudinkestävyys murtuu helposti.
- Useimpia härmätauteja vastaan on tehokkaita kemiallisia kasvinsuojeluaineita.



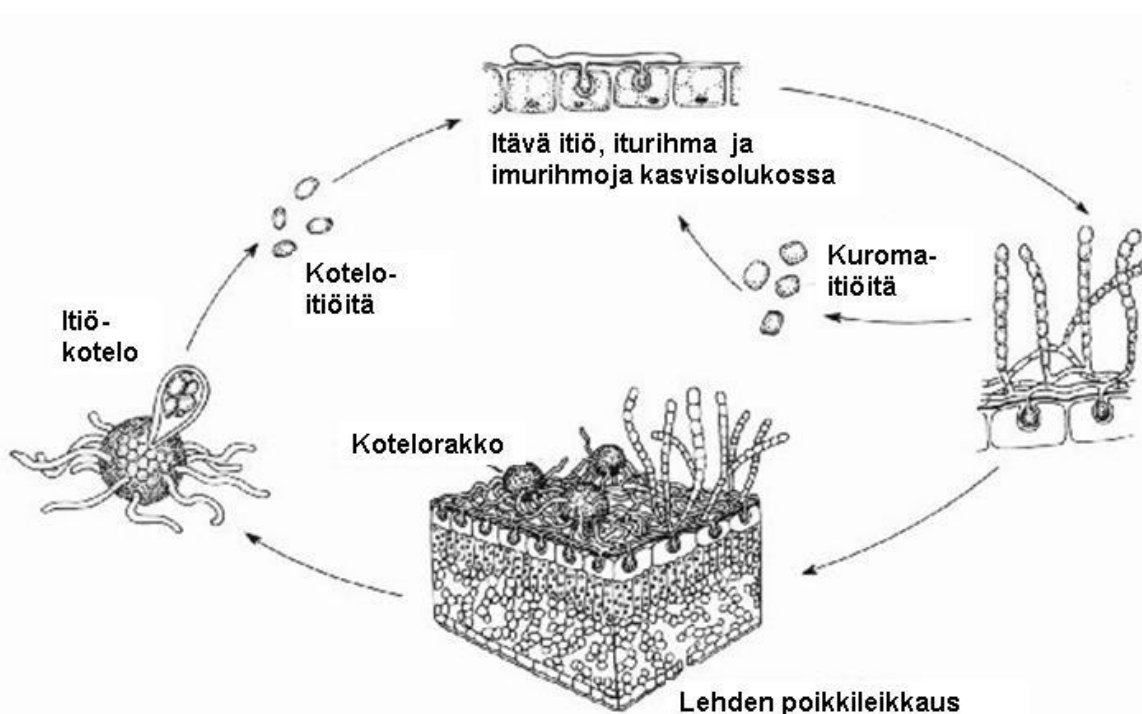
Kuva 27. Härmäsienten erilaisia kotelorakkoja ja suvuton *Oidium*-vaihe

Harjoitus 13: Härmäsienten kotelorakkojen vertailua

Erillinen työohje - tavoite tunnistaa erilaisia Erysiphales- sienten tunnusomaisia rakenteita

Erysiphales -lahkon esimerkkitauteja:

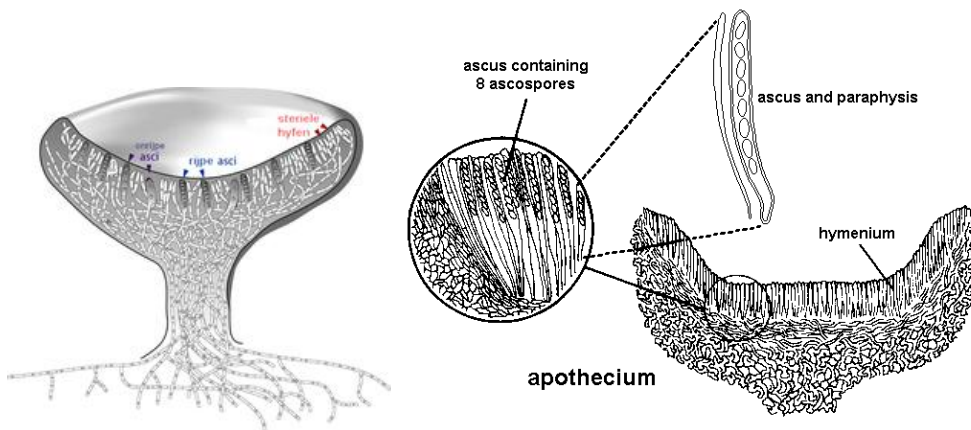
- *Blumeria graminis* (DC.) Speer, viljakasvien härmä
 - o Yleisiä viljoilla, kullakin oma muotonsa
 - o kestävät lajikkeet ja kemiallinen torjunta
- *Erysiphe betae* (Vařha) Weltzien, juurikkaanhärmä
- *Erysiphe cruciferarum* Opiz ex L. Junell, ristikukkaistenhärmä
- *Microsphaera trifolii* (Grev.) U. Braun, apilanhärmä
- *Podosphaera aphanis* (Wallr.) U. Braun & S. Takam., vadelmanhärmä, mansikanhärmä
 - o Mansikalla pilaa marjoja
 - o kestävät lajikkeet ja kemiallinen torjunta
- *Podosphaera fuliginea* (Schltld.) U. Braun & S. Takam., kurkunhärmä
- *Podosphaera leucotricha* (Ellis & Everh.) E.S. Salmon, omenanhärmä
- *Podosphaera mors-uvae* (Schwein.) U. Braun & S. Takam., herukanhärmä
- *Podosphaera pannosa* (Wallr.) de Bary, ruusunhärmä
- *Sawadaea tulasnei* (Fuckel) Homma, vaahteranhärmä



Kuva 28. Härmäsienten elinkierto

Helotiales -lahkon esimerkkitauteja:

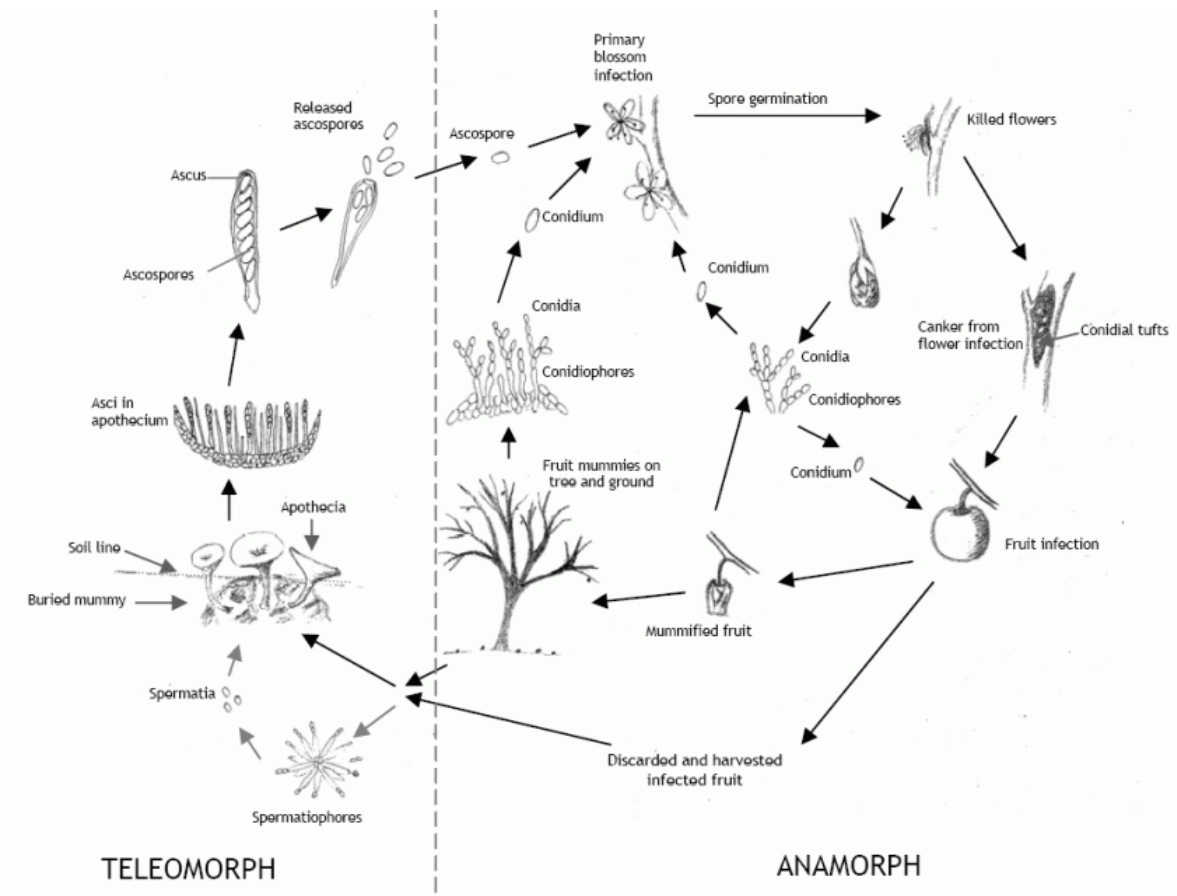
- Itiöemä on kuppimainen tai maljamainen, avonainen kotelomalja (apoteekio). Kotelomalja on jalallinen tai jalaton.
- Askukset ja parafyysit muodostavat yhtenäisen kerroksen, itiölävan (hymeenio), maljan yläpinnalle.
- Itiöemien koko vaihtelee muutaman millimetrin suuruudesta senttimetrin kokoiseen ja muoto kuppimaisesta korvasienimäiseen.
- Itiökotelossa on yksikerroksinen seinä. Itiökotelot avautuvat kärkeen syntyvällä aukolla (inoperkulaatti) tai kannella (operkulaatti).
- Maljasienten tunnistuksessa on tärkeää askuksen kärjen värjäytyminen jodilla.
- Lahkoon kuuluu muutamia yleisiä ja taloudellisesti merkittäviä tauteja, kuten muumiotauti, pahkahome, harmaahome ja sipulinpahkamätä
- Helotiales sienille ovat tyypillisiä muutaman millimetrin läpimittaiset rihmastopahkat, sklerootiot. ioiden avulla taudinaiheuttajat säilyvät maassa useita vuosia.



Kuva 29. Helotiales-lahkon itiöemä, kotelomalja ja koteloiitiötä.

Helotiales -lahkon esimerkkitauteja: *Monilia fructigena* Honey, muumiotauti

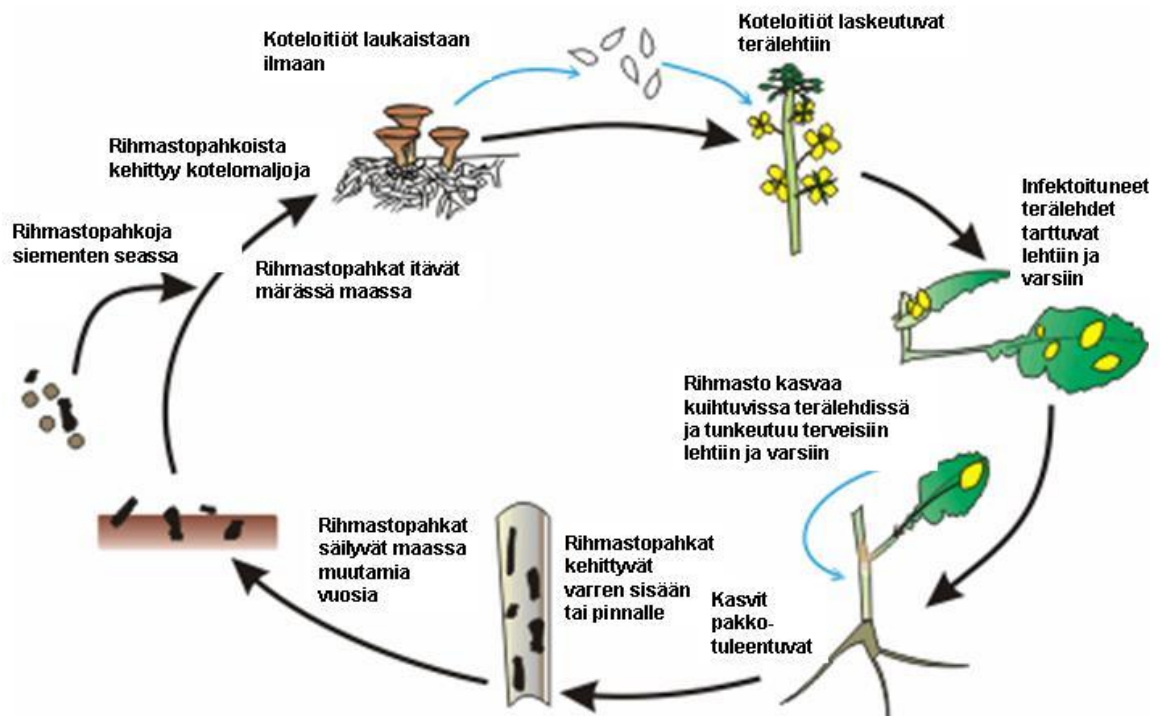
- kuroma-aste: *Monilia fructigena* (Pers.) Pers.
- Sieni aiheuttaa hedelmiin ensin ruskeita mätäpesäkkeitä, jotka laajenevat tuhoten hedelmän kokonaan.
- Kotelomaljat kasvavat rihmastopakhoista (sklerootio). Kotelomalja on "jalallinen". Itiökotelot avautuvat kärkeen syntyvällä aukolla.
- Sieni mädättää varsinkin omenapuun hedelmiä ja tauti on erittäin yleinen kotipuutarhoissa
- Taudin vähentämiseksi muumiotautiset omenat kerätään pois ja haudataan maahan, ei kannata laittaa kompostiin



Kuva 30. Muumiotaudin elinkierto

Helotiales -lahkon esimerkkitauteja: *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary pahkahome ja *S. trifoliorum* Erikss., Apilamätä

- Tavallinen pahkahome vioittaa yli 250 eri kasvilajin edustajia
- Tauti on rypsilä ja rapsilla yleinen kasvustotauti loppukesällä
- Porkkanalla ja varastoitavilla kaaleilla paha varastotuhojen aiheuttaja
- Yleinen perunalla, avomaanvihanneksilla, herneellä, koristekasveilla
- Ei vioita heinäkasveja eikä puuvartisia kasveja
- Apilamätä vioittaa apilalajeja ja muita nurmipalkokasveja
- Tyypillistä: vaalea, pumpulimainen sienirihmasto ja mustat pyöreähköt rihmastopahkat kasvin pinnalla tai varren sisällä



Kuva 31. Pahkahomeen elinkierto rypsilä

Harjoitus 14: *Sclerotinia*- ja *Botrytis* lajien vertailua

Erillinen työohje - tavoite tunnistaa pahkahomeen ja harmaahomeen rakenteellisia eroja

Harjoitus 15: *Sclerotinia*-lajien DNA-pohjainen luokitteluharjoitus

Erillinen työohje - tavoite opetella PCR-työkalujen käyttöä sienten luokittelussa

Helotiales -lahkon anamorfisia esimerkkitauteja: *Botrytis cinerea* Pers., harmaahome

- Yleisin eri puutarha- ja koristekasvien taudinaiheuttaja
- Kuoliolaikkuja kasvien lehdissä, versoissa ja kukissa
- Pilaaja marjoja ja hedelmiä puutarhassa ja varastoissa (Mansikka, herukat, kurkku, tomaatti)
- Varastoitavien vihannesten ja juuresten pilaaja (Porkkana, kaali, purjo, sipuli)
- Kuromaititöt ovat yksisoluisia. Ne muodostuvat rykelminä sienirihman kärkiosaan.
- Monet isolaatit tuottavat mustia tai tummanruskeita pyöreähköjä tai litteitä rihmastopahkoja.
- HUOM! Harmaahomeen pahkat ovat kauttaaltaan samanvärisiä, pahkahomeen pahkoissa on lähes valkoinen sisus ja musta tai tummanruskea kuori

Helotiales -lahkon anamorfinisia esimerkkitauteja:

Stromatinia cepivora (Berk.) Whetzel, Sipulinpahkamätä

- Sieni muodostaa runsaasti pieniä mustia haulimaisia rihmastopahkoja sipulin alaosaan sipulisuomujen väliin ja kasvin juuret tuhoutuvat
- Lajilla ei tunneta suvullisia tai suvuttomia itiöitä
- Tauti ei ole kovin yleinen, mutta hyvin tuhoisa sipulille niillä pelloilla, jonne se on levinnyt
- Pahkat säilyvä maassa ainakin 10 vuotta tartutuskykyisinä
- Varsinaisia torjuntakeinoja ei ole

4.4.4.3.4 Luokka: *Sordariomycetes* – aitoja kotelopulloja tuottavat kotelosienet

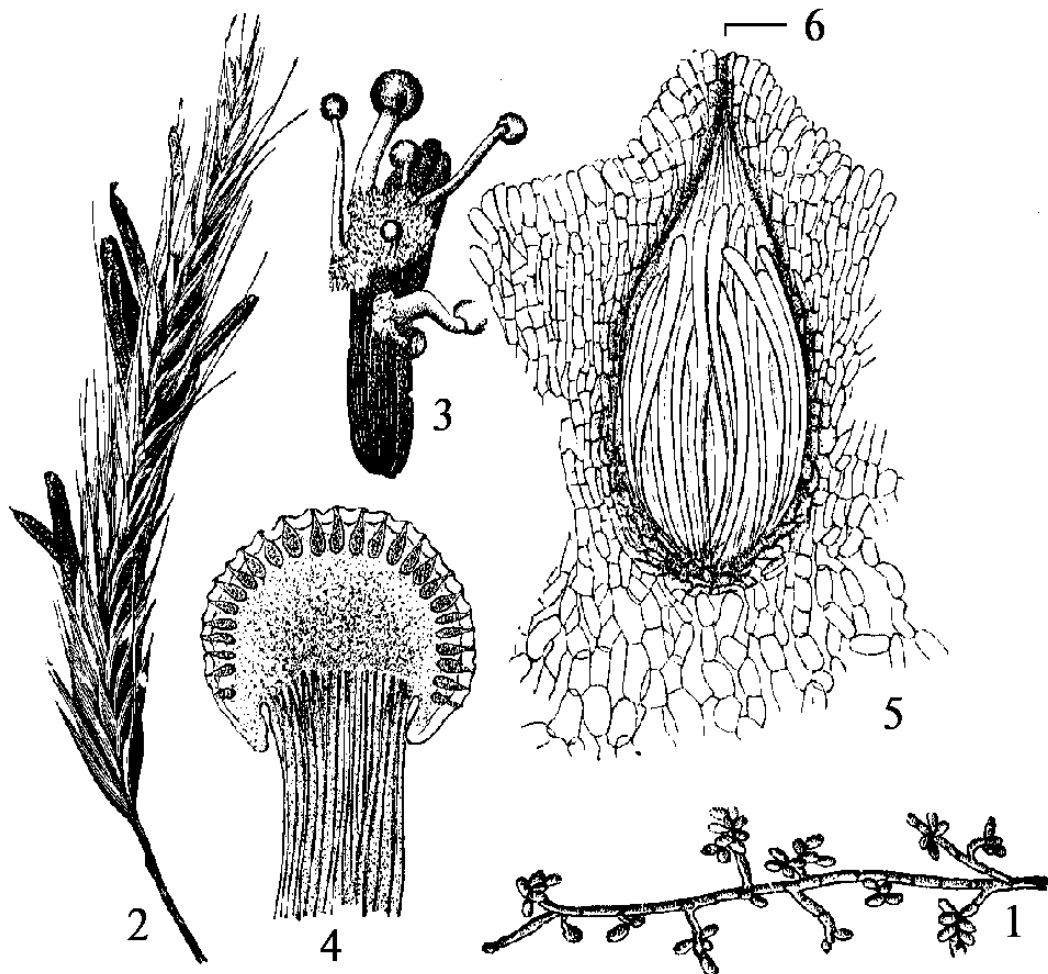
Sordariomycetes-luokka on lajimäärältään surimpia kotelosienten ryhmistä. Siihen kuuluu yksi kasvipatologisesti merkittävä lahko: ***Hypocreales***. Lisäksi luokkaan kuuluu joukko kasvipatologisesti tärkeitä pleomorfisia ja anamorfinisia sieniä, joiden ryhmittäminen luokan sisällä on vielä epäselvä. Luokan sienille tyypillinen suvullisia koteloiitiöitä tuottava itiöemä on kotelopullo. Kotelopullossa on erilaistunut pintakerros ja suuaukko, jonka kautta itiökotelot ja koteloiitiöt vapautuvat. Kotelopulloja voi syntyä kasvisolukon sisään tai pinnalle. Eräät lajit kasvattavat suurikokoisia rihmastollisia rakenteita joiden suojaan kotelopullot kehittyvät. Kotelopulloihin voi kehittyä monenlaisia lajiyypillisiä pintarakenteita, joita voidaan hyödyntää lajimäärityksissä.

Luokkaan luetaan nykyisin myös suuri joukko anamorfinisia lajeja joista osa tuottaa kuromaitiönsä rakenteeltaan yksikertaisissa kuromankannattimissa. Monet tämän luokan lajit muodostavat massoittain kuromaitiöitä värikkäissä kuromapahkoissa (sporodokio). Useilla lajeilla on vähintään kaksi rakenteeltaan ja toiminnaltaan erilaista suvuttomien itiöiden tuottamista.

Kasvipatologisesti tärkeimmät *Sordariomycetes*-sienet ovat kasvien ehdollisia loisia ja ne pystyvät selviytymään pitkiä aikoja ilman elävää isäntäkasvia. Luokan edustajissa on suuri joukko ihmisille ja kotieläimille erittäin vaarallisten mykotoksiinien tuottajia. Lisäksi mykotoksiineja tuottavat lajit kykenevät valmistamaan jopa kymmeniä kemiallisesti hyvin erilaisia myrkkijä.

***Hypocreales* -lahkon esimerkkitauteja: *Claviceps purpurea* (Fr.) Tul., torajyvä**

- Torajyvä loisii heinäkasvien sikiäimessä, johon ei kehity jyvää, vaan musta jyvä kookkaampi rihmastopahka eli sklerootio
- Sklerootiosta kehittyy nuppineulamainen alustapahka, jossa kotelopullot kehittyvät. Askukset ovat pitkänomaisia ja pienellä aukolla avautuvia. Askuksen seinä on yksikerroksinen ja askusten välissä on parafyysejä. Koteloiitiöt ovat rihmamaisia, monisoluisia ja värittömiä
- Torajyvä on yleinen rukiilla, ruisvehnäillä ja monilla luonnonheinillä. Ohrassakin sitä esiintyy toisinaan
- Torajyvä ei verota nimeksikään siemensatoa, mutta sadon sekaan joutuvat torajyvät sisältävät myrkyllisiä alkalioideja, jotka aiheuttavat hallusinaatioita, verenkiertohäiriöitä ja jopa kuolemaan johtavia myrkytyksiä eläimille ja ihmisille. Osa alkalioideista heikentää suvunjakamishaluja ja kykyä ja voi johtaa keskenmenoihin
- Torajyviän alkalioideja on käytetty myös lääketieteellisuuden raaka-aineena, esim. valmistettaessa migreeni- ja verenpainetaulilääkkeitä

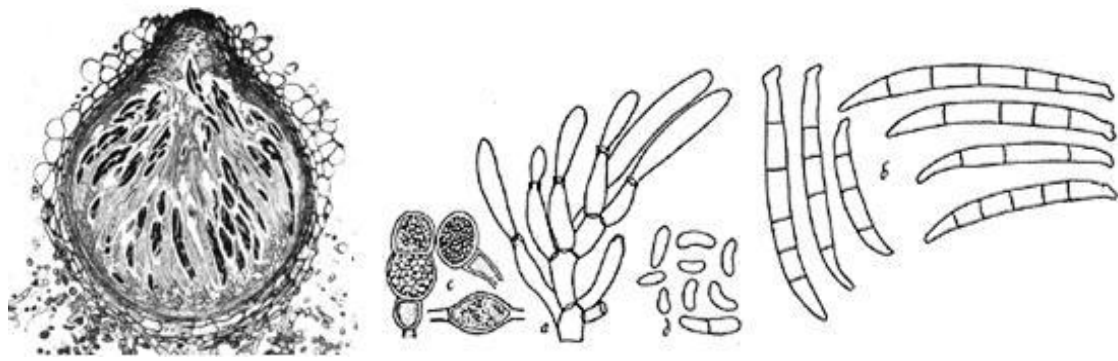


Kuva 32. Torajyvälle tyypillisiä rakenteita: 1. Heinien tähkissä kasvaa rihmastoa ja kuromaitiöitä (mesikaste), 2. Torajyvän rihmastopakkoja rukiin tähkässä, 3. Sklerootiosta kehittyviä nuppineulamaisia alustapakkoja, 4. Kaavakuva halkaistusta alustapakosta, jonka pintakerroksissa on kotelopulloja, 6. Kaaviokuva yksittäisestä kotelopullosta ja itiökoteloista.

Hypocreales -lahkon esimerkkitauteja:

Punahomeiden laaja ryhmä: *Gibberella* spp., *Haematonectria* spp. ja anamorfrit: *Fusarium* spp.

- Tämä ryhmä käsitellään selvyden vuoksi poikkeuksellisesti pääasiassa anamorfien nimillä. *Fusarium* spp. anamorfi löytyy kaikilta lajeilta, mutta kaikkien *Fusarium*-lajien koteloaistetta ei tunneta tai se on hyvin harvinainen luonnossa.
- Useimmat *Fusarium* -lajit ovat selluloosaa hajottavia, mitä erilaisimpia eloperäisiä ravintolähteitä hyödyntäviä saprofyyttejä, joita löytyy kaikkialta ympäristöstämme
- Kasvipatogeeniset lajit voivat olla isäntäkasvinsa suhteen lähes kaikkiruokaisia yleispatogeenisiä tai äärimmäisen valikoivia tiettyä kasvia tai kasvosaa vaurioittamaan erikoistuneita patotyyppisiä (forma speciales, f. spp).
- Yleispatogeenit lajit aiheuttavat tyypillisesti kasveissa tyvi- ja juuristotauteja, heikentävät siementen itävyyttä ja pilaavat erilaisia varastoitavia satotuotteita
- Tiettyyn isäntäkasviin erikoistuneet lajit aiheuttavat tyypillisesti lakastumisoireita, jotka johtuvat joko kasvin juuriston tai johtosolukoiden vioittumisesta
- Monien lajien aineenvaihdunnan sivutuotteina muodostuu ihmiselle ja kotieläimille vaarallisia mykotoksiineja. Toksiinien muodostuminen riippuu ravintolähteestä ja monista ympäristökijöistä



Kuva 33. *Fusarium*-sienten itiömuotoja, *Gibberella*-teleomorfi, sporodokkio, mikrokuromia, makokuromia ja kätköitiötä

Hypocreales -lahkon esimerkkitauteja:

***Fusarium*-sienten tunnistaminen perinteisin menetelmin**

- Tunnistaminen perustuu eri lajien erilaiseen kasvuun ja värikkäiden pigmenttien muodostumiseen ravintoalustalla. Kuromapahkojen muodostuminen, rakenne ja väri ovat hyviä lajituntomerkkejä. Tietyt lajit voidaan tunnistaa tyypillisen hajun perusteella. Tunnistus on aina varmistettava tutkimalla läpivalomikroskoopilla eri itiömuotojen kokoa, rakenteita ja syntytapaa.
- Kasvutapa, itiöiden ja väriaineiden muodostuminen riippuu etenkin ravintoalustasta ja kasvatusta paikan valon määrästä ja aallonpituudesta. Lajitunnistuksen tueksi on julkaistu monia laadukkaita käsikirjoja. Tunnistusohjeita tulkitessa on aina tarkistettava, millaisissa kasvuoloissa kuvatut ominaisuudet on saatu kehittymään.
- Kurssilla käytettävät lajikuvaukset perustuvat PDA:lla (perunadekstroosiagar) normaalissa päivänvalossa tehtyihin kasvatuksiin. Joissakin tunnistusoppaissa käytetyt PSA:lla (perunasakkarooosiagar) tehdyt lajikuvaukset soveltuvat melko hyvin myös PDA-viljelmiin.
- PDA:lla *Fusarium*-lajit tuottavat hyvin väriaineita, mutta itiöiden muodostumiselle ravintoalusta ei ole paras mahdollinen. PDA sopii erinomaisesti käytännön tunnistukseen, mutta tarkemmissa tutkimuksissa ravinteikkaiden kasvualustojen rinnalla käytetään usein niukkaravinteista SNA-erikoisalustaa, jossa itiöitä kehittyy varmemmin kuin PDA:lla. Lajityypillisiä kuromaitiöitä syntyy normaalissa päivänvalossa (ei pimeässä). Tietyillä lajeilla itiötuotanto saadaan käynnistymään NUV-valossa (Near ultraviolet light, black light).

Harjoitus 16: Yleisimpien *Fusarium* lajien tunnistaminen

Erillinen työohje - tavoite opetella tunnistamaan melko hankalia *Fusarium*-lajeja puhtasviljelmien värien, hajujen ja kasvunopeuden, sekä erilaisten mikroskooppisten rakennetuntomerkkien perusteella.

Taulukko 3. Muutamien tavallisimpien *Fusarium*-lajien teleomorfit (jos niitä on) ja morfologisia lajityypillisiä ominaisuuksia, joiden perusteella lajeja tunnistetaan käytännössä

Teleomorfi & <i>Fusarium</i> -laji	Mikro-kuromat	Makro-kuromat	Klamydosporit	Viljelmän väri (PDA)
<i>Gibberella avenacea</i> R.J. Cook, <i>Fusarium avenaceum</i> (Fr.) Sacc.,	Ei	Ei aina	Ei	Punainen
<i>F. culmorum</i>	Ei	Runsaasti	On	Punainen
<i>Gibberella intricans</i> Wollenw. <i>Fusarium equiseti</i> (Corda) Sacc.,	Ei	Ei aina	Runsaasti	Vaalean ruskea
<i>Gibberella zeae</i> (Schwein.) Petch, <i>Fusarium graminearum</i> Schwabe	Ei	Vähän	Vähän	Vaaleanpunainen
<i>Fusarium oxysporum</i> Schldtl.	Runsaasti	On	Runsaasti	Lila (ei pun.)
<i>Fusarium poae</i> (Peck) Wollenw.	Runsaasti	Harvoin	Vähän	Vaaleanpunainen
<i>Fusarium redolens</i> Wollenw.	Runsaasti	On	Runsaasti	Oranssi
<i>Gibberella pulicaris</i> (Fr.) Sacc. <i>Fusarium sambucinum</i> Fuckel	Ei		On	Punainen
<i>Haematonectria haematococca</i> (Berk. & Broome) Samuels & Rossman <i>Fusarium solani</i> (Mart.) Sacc.,	Runsaasti	On	On	Sinertävä
<i>Fusarium sporotrichioides</i> Sherb.	Runsaasti	Ei aina	On	Punaruskea
<i>Gibberella tricineta</i> El-Gholl, McRitchie, Schoult. & Ridings <i>Fusarium tricinctum</i> (Corda) Sacc.	Runsaasti	Harvoin	On	Punainen

Mykotoksiinit

Mykotoksiinit ovat sienten (useimmiten homeiden) tuottamia aineenvaihduntatuotteita, jotka saattavat olla vaarallisen myrkyllisiä joutuessaan ihmisten tai eläinten ravintoon. Mykotoksiinit voivat olla peräisin käytettävästä raaka-aineesta, ts. saastunta on tapahtunut jo kasvukauden aikana. Etenkin kosteina syksyinä mykotoksiineja muodostuu korjaamattomissa kasvustoissa, mistä ne kulkeutuvat kasvimateriaalin mukana varastoon. Useimmiten sienet kuitenkin pilaavat elintarvike- ja rehuraaka-aineita tai valmiita elintarvikkeita vasta varastointivaiheessa. Mykotoksiinit aiheuttavat ongelmia myös elintarviketeollisuuden prosesseissa kuten mallastuksessa.

Nykytutkimuksen valossa ei ole vielä aivan selvää, mikä merkitys toksiinien tuotolla on itse sienelle. Arvellaan, että eräiden lajien tuottamat toksiniitit toimivat patogeenisuus- ja/tai virulenssitekijänä eli edistävät infektion etenemistä.

Mykotoksiinien muodostumiseen vaikuttavia tekijöitä:

- tietyt sienilajit ⇒ tietyt sienikannat
- kasvualusta
- lämpötila
- kosteus
- happi (anaerobisissa oloissa homeyrkkyjä ei muodostu)
- hiilidioksidi

Mykotoksiini	Toksiinia tuottava sieni	Mykotoksiini-lähteitä	Vaikutus
Aflatoksiini	<i>Aspergillus flavus</i> A. <i>parasiticus</i>	Maapähkinä	Maksa, Karsinogeeninen
Okratoksiini	<i>Aspergillus Penicillium</i>	Ohra, vehnä, maissi	Munuaiset
Patuliini	<i>Aspergillus Penicillium</i>	Omenamehut, marjahillot	Karsinogeeninen (?)
Trikotekeenit	Useat <i>Fusarium</i> - lajit	Viljat	Verenvuotoja
Zearalenoni l. F-2	Useat <i>Fusarium</i> - lajit	Viljat	Estrogeeninen (sikiövauriot, steriliteettiongelmat)
Torajyvän toksiniitit	<i>Claviceps purpurea</i>	Ruis, muut viljat, heinät	Verisuonisto, hermosto

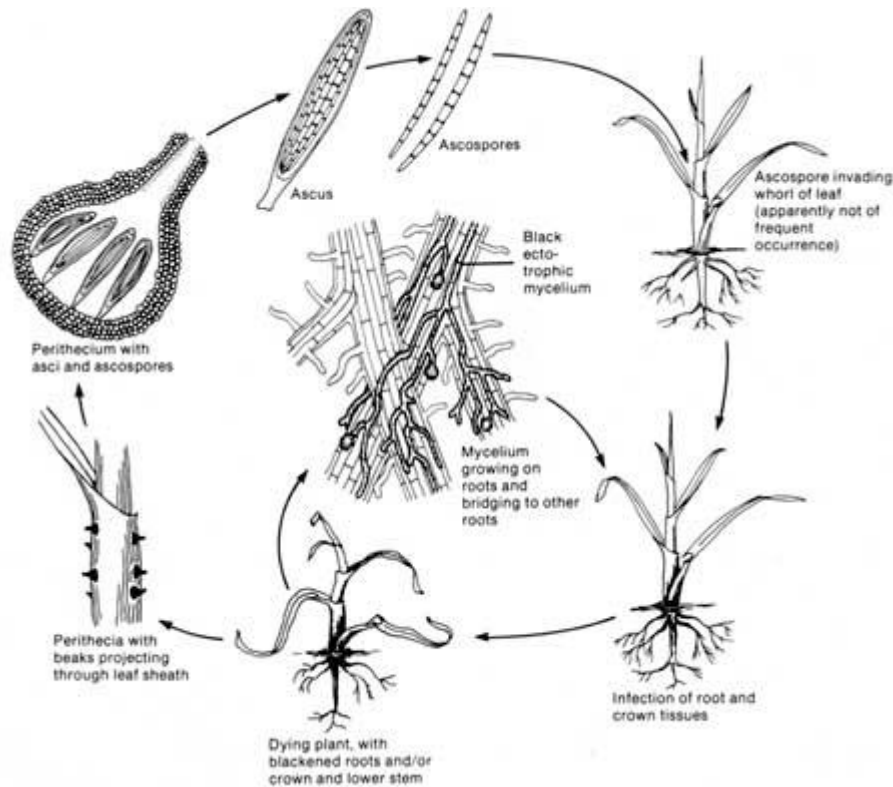
Sordariomycetes-luokan esimerkkitauteja, joiden tarkempi ryhmittely on vielä epävarma: **Mustatyvitauti**

Gaeumannomyces graminis var. *avenae* (E.M. Turner) Dennis

Gaeumannomyces graminis var. *graminis* (Sacc.) Arx & D.L. Olivier

Gaeumannomyces graminis var. *tritici* J. Walker

- Mustatyvitautia esiintyy viljoilla ja muilla heinäkasveilla. Korren tyvi muuttuu lähes mustaksi, myös juuret mustuvat ja haurastuvat. Pullomaiset itiöemät kehittyvät korren tyvelle.
- Viljoilla tauti esiintyy usein pesäkkeinä, joissa kasvit jäävät kitukasvuiksi eikä tähkiin kehity jyviä.
- Viime vuosina taudista on aiheutunut ongelmia golfkentillä, joilla se



Kuva 34. *Gaeumannomyces graminis*-sienen elinkierto

Harjoitus 17: Yleisimpien viljojen tyvitautien tunnistaminen

Erillinen työohje - tavoite opetella tunnistamaan tauteja, joita voi aiheuttaa monta sienilajia, vaikka oireet ovat hyvin samanlaisia

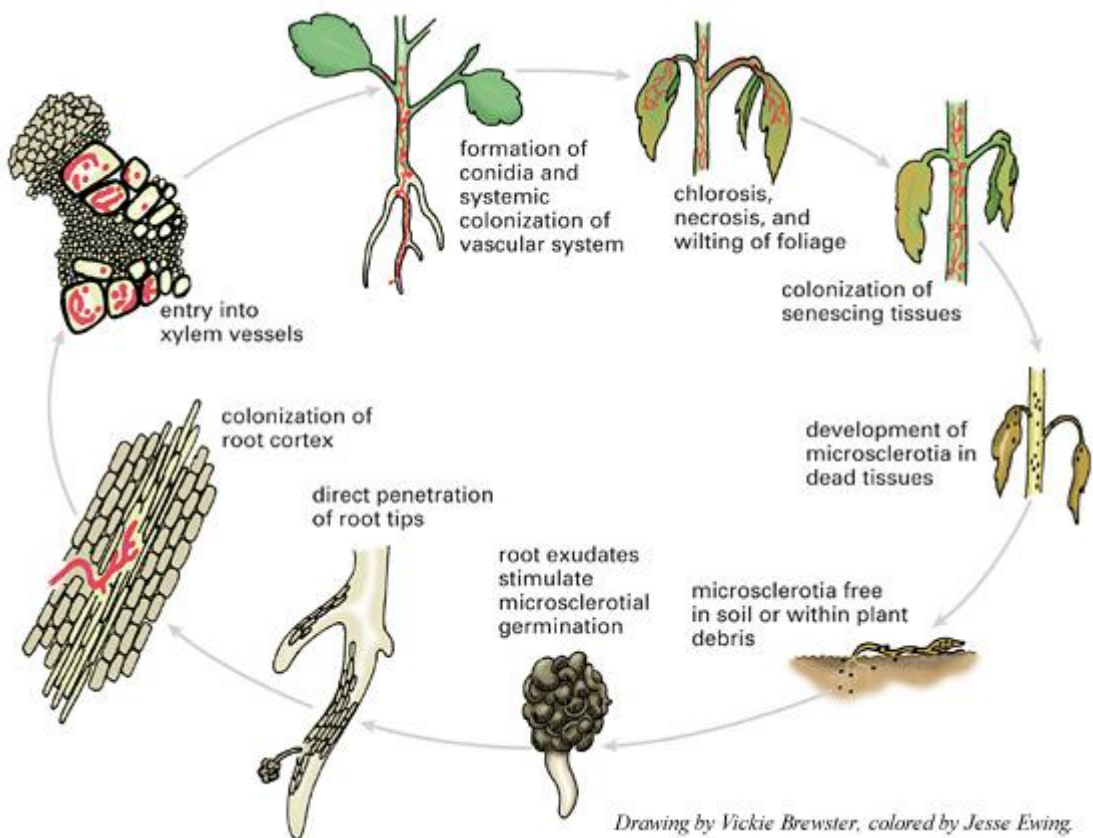
Sordariomycetes-luokan esimerkkitauteja, joiden tarkempi ryhmittely on vielä epävarma: Lakastumistauti

- Anamorfi: *Verticillium albo-atrum* Reinke & Berthold
- Anamorfi: *Verticillium dahliae* Kleb.
- Moni-isäntäisiä maassa eläviä lajeja
- Esim. kurkku, tomaatti, peruna
- Vaurioittavat iohetosolukoita, jolloin kasvi ensin nuutuu, kellastuu ja lopulta lakastuu

Sordariomycetes-luokan esimerkkitauteja, joiden tarkempi ryhmittely on vielä epävarma:

Kuromapatjaisia anamorfeja: *Colletotrichum*-suvusta tunnetaan noin 20 lajia, jotka useimmiten esiintyvät kasvien maanpäällisissä osissa aiheuttaen laikkuja lehtiin tai hedelmiin. Yksi laji on siemenlevintäinen aiheuttaen taimipoltetta.

- *Colletotrichum acutatum* J.H. Simmonds, Mansikanmustalaikku
- *Colletotrichum coccodes* (Wallr.) S. Hughes, Perunanmustapistelaikku
- *Colletotrichum fragariae* A.N. Brooks, Mansikanpunamätä



Kuva 35. *Verticillium*-sienten elinkierto

Harjoitus 18: Lakastumistauteja aiheuttavien taudinaiheuttajien tunnistustaminen

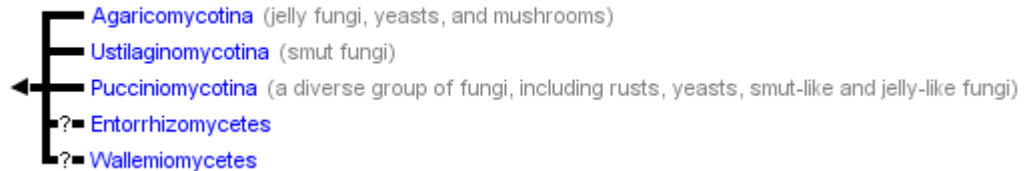
Erillinen työohje - tavoite opetella tunnistamaan mikroskooppisten rakenteiden perusteella kasvien johtosolukoita pilavia taudinaiheuttajia.

4.4.5 Sukuhaara: *Dikarya*, Kaari: *Basidiomycota* – kantasienet

Basidiomycota-kaareen kuuluu noin 30 000 kuvattua lajia eli miltei 40 % aidoista sienilajeista. Valtaosa ravinnoksi kelpaavista ja muista lakkisienistä kuuluu kantasieniin. Metsiemme kasvu perustuu pitkälti puuvartisten kasvien seuralaisina eläviin ektomykoritsoihin, jotka pystyvät ottamaan maasta vaikealiukoisiakin mineraaliravinteita isännälleen ja saavat vastaavasti isäntäkasvin yhteyttämistuotteita omaksi energialähteekseen. Kantasienet ovat ekosysteemin hiilikierron käyttövoima, sillä ne pystyvät hajottamaan monia eloperäisiä jätteitä, joita muut eliöt eivät pysty hyödyntämään.

Monet nykyiselle ihmiskunnalle tärkeät entsyymit ja muut lääkkeinä ja teollisuuden prosesseissa käytettävät yhdisteet on alun perin eristetty kantasienistä. Tällaisia ovat paperiteollisuuden hyödyntämät selluloosaa pilkkovat entsyymit, erilaiset väriaineet ja mikrokuitujen komponentit. Maatalous- ja puutarhatuotannossa kasvitautien torjuntaan laajasti käytetyt strobiluriini-yhdisteet on löydetty puuta lahottavalta kantasieneltä. Eräät kantasienilajit, kuten kärpässieni, tuottavat ihmiselle erittäin vaarallisia myrkyjä. Tiettyjä lajeja on käytetty uskonnollisten rituaalien yhteydessä hallusinaatioiden aiheuttajina ja voimakkaina huumausaineina.

Osa kantasienistä aiheuttaa ihmisen näkökulmasta mittavia tuhoja elävien puiden, puutavaran ja puisten rakenteiden lahottajia. Laho voi edetä pitkään täysin huomaamattomana, mutta lahon edetessä useimmat lajit tuottavat kääpämäisen itiöemän. Kantasieniin kuuluu myös mikroskooppisen pieniä kasvitautien aiheuttajia, kuten noet ja ruosteet. Näiden aiheuttamia elintarvikekatastrofeja on kuvattu jo Raamatun kertomuksissa

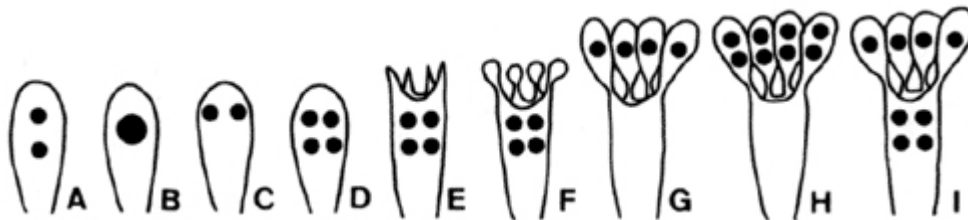


Kuva 36. Basidiomycota-sienten alakaaret

Tyypillisiä kantasienten ominaisuuksia

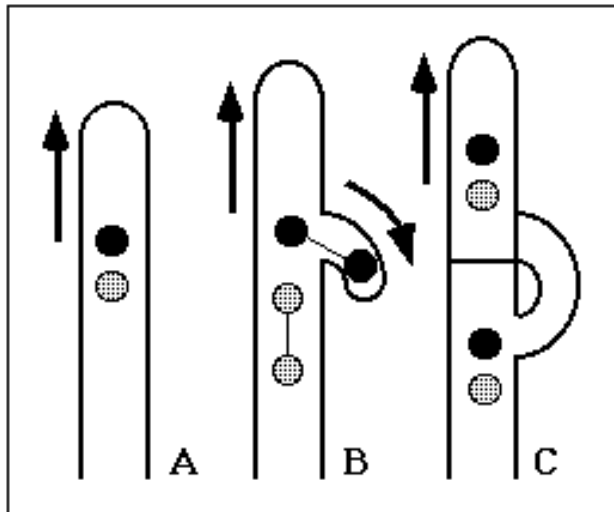
Kantasienet ovat rakenteellisesti ja elintavoiltaan niin monimuotoinen ryhmä, että mikään ulkoinen ominaisuus ei ole ainutlaatuinen vain kantasienille eikä yhteinen kaikille kantasienille. Fylogeneettisesti ryhmä on yhtenäinen ja on erittäin paljon todisteita siitä, että ryhmä on peräisin samasta kantamuodosta. Kantasieniä ja kotelosieniä yhdistää kaksitumainen rihmasto jossakin elämänkierron vaiheessa ja ne luokitellaan sienikunnan sukupuun Dikarya- (joissakin lähteissä Dikaryomycotina) ryhmään.

Kantasienille tunnusomaista ovat itiökannat (basidia, yksikössä basidium), joissa suvullinen lisääntyminen tapahtuu. Kantasienet elävät pääosan elämästään kaksitumaisina, mikä on koko eliökunnassa varsin ainutlaatuista. Jokaisessa sienirihmaston solussa on kaksi haploidia paritumisen tuottamaa tumaa. Lisäksi kantasieniä yhdistävä rakenneominaisuus on sinkilänmuodostus (clamp connections), solunjakautumiseen liittyvä erityispiirre.



Kuva 37. Kaaviokuva kantaitiöiden muodostumisesta

Itiökannat (basidia) ovat soluja, joissa karyogamia ja meioosi tapahtuvat ja lopputuloksena muodostuu haploideja kantaitiöitä. Tyypillisesti itiökannat tuottavat neljä kantaitiötä ohuiden itiöperien (sterigmata) päihin. Suurikokoisilla kantasienillä itiökannat kehittyvät itiöemissä, kuten lakkisienien heltoissa tai kääpien pillimäisissä rakenteissa. Mikroskooppiset kantasienet tuottavat itiökantansa suoraan rihmastosta tai yksittäisistä soluista.



Kuva 38. Kaaviokuva sinkilänmuodostuksesta

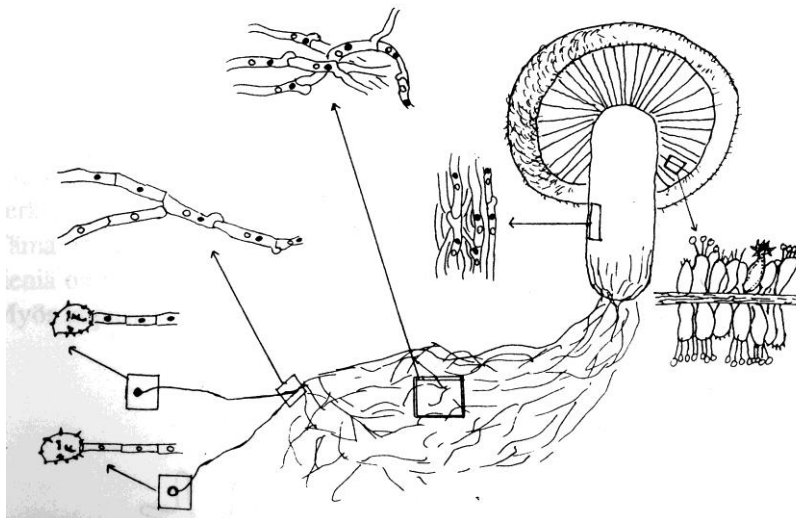
4.4.5.1 Alakaari: *Agaricomycotina*

4.4.5.1.1 Luokka: *Agaricomycetes* – helttasienet ja käävät

Agaricomycetes-luokkaan kuuluu kolme kasvipatologisesti merkittävää heimoa ***Agaricales***, ***Polysporales***, ***Cantharellales***. Valtaosa lajeista on makrosieniä, joista osa on syötäviä helttasieniä tai puita lahottavia kääpäsieniä. Joukossa on myös mikroskooppisia lajeja. Monet lajeista muodostavat puuvartisten kasvien juuristoon sienijuuria, mykorritsoja.

***Agaricomycetes*-luokan esimerkkilajeja: *Agaricales*-heimo, helttasienet**

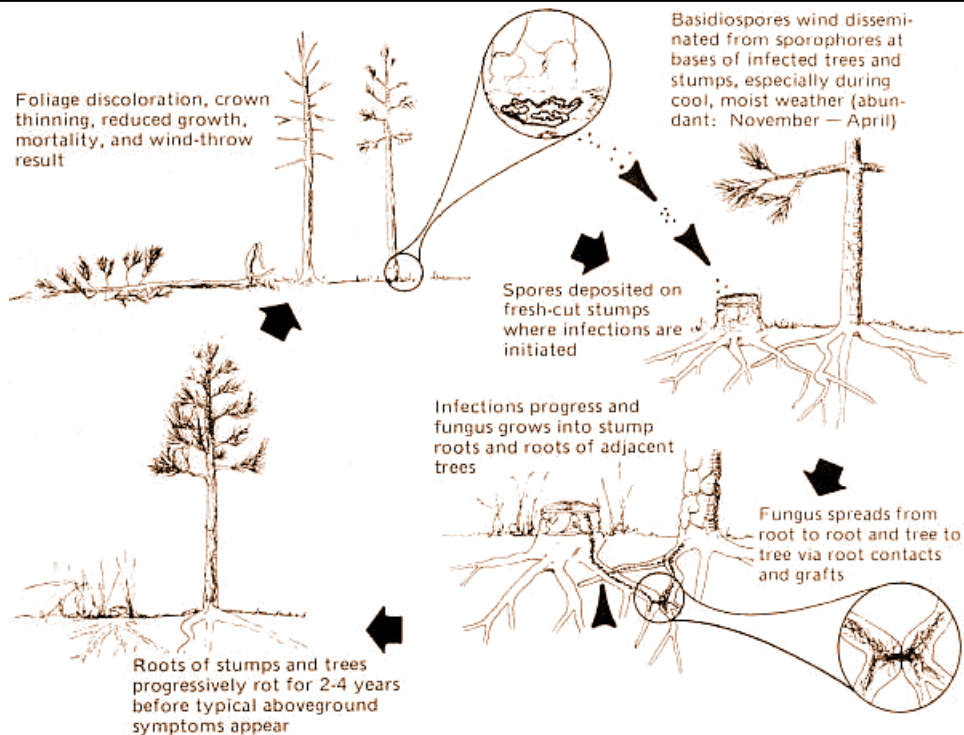
- ***Armillaria mellea*** (Vahl) P. Kumm, Mesisieni
 - o Mesisieni on yleisimpiä lehtipuiden lahottajia
 - o Sille ovat tunnusomaisia paksut rihmastojänteet, jotka voivat olla kymmenien metrien pituisia
 - o Puutarhoissa vioittaa toisinaan omenapuita marjapensaita ja mansikkaa
- ***Marasmius oreades*** (Bolton) Fr., Nurminahikas on pienikokoinen nurmikoilla kehinä esiintyvä helttasieni. Se voi rihmastollaan tukehduttaa nurmikon kasvun ja seurauksena nurmikkoon syntyy kehämäisiä kuolioalueita, joita kutsutaan noidankehiksi.



Kuva 39. Kaaviokuva helttasienen elinkierrosta

Agaricomycetes-luokan esimerkkilajeja: Polyporales-heimo, kääväkkäät

- ***Heterobasidion annosum*** (Fr.) Bref., juurikäöpä
 - o Juurikäöpä on pahimpia havupuiden lahottajia



Kuva 40. Juurikäävän elinkierto

Agaricomycetes-luokan esimerkkilajeja: Cantharellales -heimo

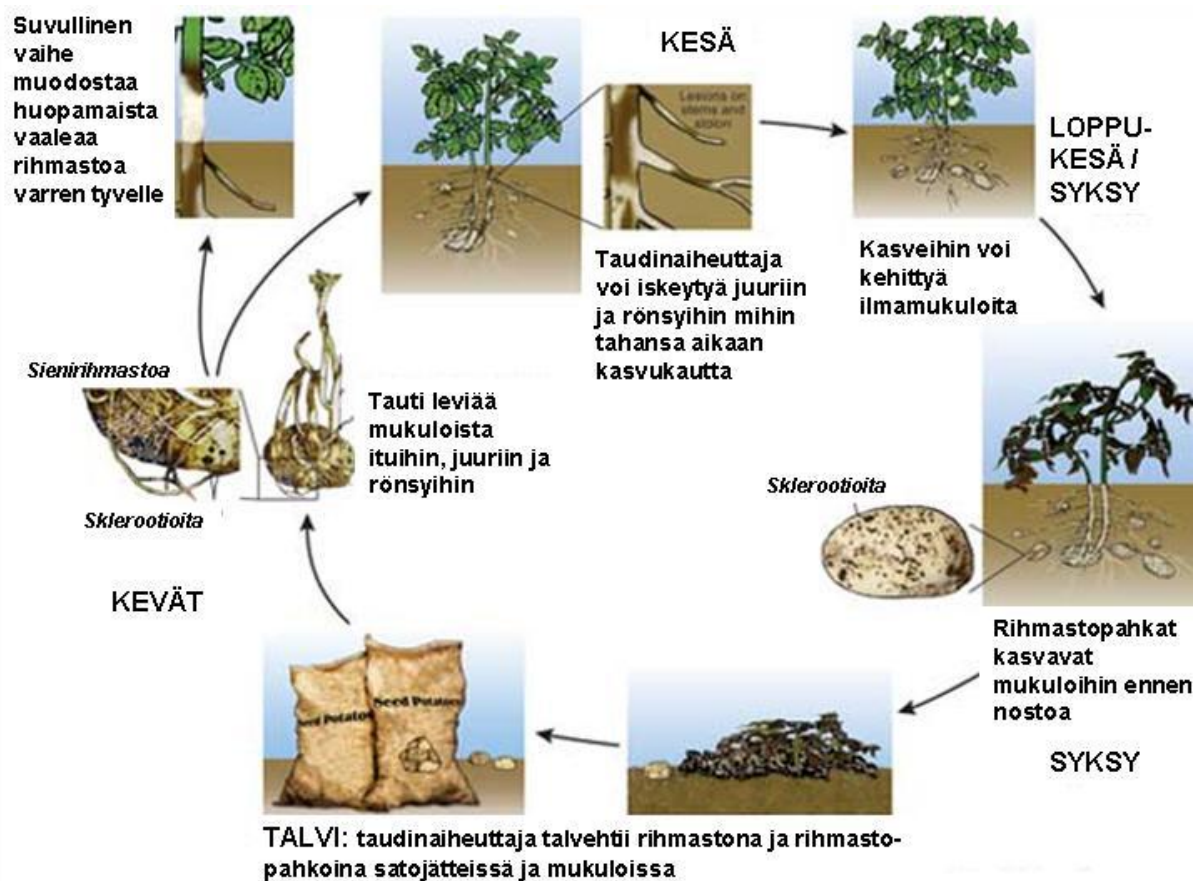
Thanatephorus cucumeris (A.B. Frank) Donk

Anamorfii: *Rhizoctonia solani* J.G. Kühn

- Hyvin yleinen moni-isäntäinen maalevintäinen taudinaiheuttaja
- Tyypillisiä oireita taimipolte, kuoliolaikut maanalaisissa kasvinosissa tai versojen tyvillä
- Useita anastomointiryhmiä, jotka ovat erikoistuneet voittamaan tiettyjä kasviryhmiä
- Löyhiä rihmastopakkoja, joiden avulla säilyy maassa joitakin vuosia
 - o Ristikukkaisten taimipolte
 - o Ristikukkaisten mustajuurisuus
 - o Perunaseitti, seittirupi, versolaikku
 - o Settimätä salaatilla
 - o Seittimätä juurikkailla

Harjoitus 19: Kantasienten tyypillisiä rakenneominaisuuksia

Erillinen työohje - tavoite opetella tunnistamaan kantasienille tyypillisiä rihmastollisia rakenteita mikroskoopilla



Kuva 41. Perunaseitin elinkierto

4.4.5.2 Alakaari: *Ustilaginomycotina*

Ustilaginomycotina-ryhmään kuuluu nokitauteja pöhötauteja. Nokisienet ovat pääasiassa siemenkasvien, varsinkin heinä- ja sarakasvien ehdottomia loisia. Ne aiheuttavat merkittävää taloudellista tuhoa viljoilla. Nokisienet ovat saaneet nimensä tummanruskeista tai lähes mustista noki-itiöistä, jotka ovat nokisienien näkyvin ilmenemismuoto.

Nokisienien elämänsykli ei ole isäntäkasvin vaihdosta (vrt. ruostesienet). Noki-itiöt ovat yksisoluisia ja ne vastaavat ruostesienien talvi-itiöitä. Ne muodostuvat kaksitumarihmastossa. Noki-itiön itäessä siitä kasvaa 1 - 4 -soluinen itiökanta l. basidio (promykeelio, alkeisrihma tai iturihma), josta kantaitiöt muodostuvat. Kantaitiöt voivat edelleen lisääntyä kuroutumalla. Kahden perinnöllisesti erilaisen itiön yhtyessä syntyy kaksitumarihmasto, joka infektoi kukan tai taimen. Nokisieni elää kasvilla huomaamattomana ja tulee esiin kasvin tiettyssä osassa esim. kukassa, siemenessä tai lehdessä. Nokisienillä on kolmenlaisia itiöitä: 1) paksuseinäisiä noki-itiöitä (teliospori, teleutospori, ustilospori, ustospori), jotka ovat samalla lepoitiöitä, 2) kantaitiöitä l. basidiosporeja (primäärinen sporidio, primäärinen itiö) ja 3) kuroutumalla kantaitiöistä syntyviä sekundaarisia itiöitä (sekundäärinen sporidio).

Nokisienien määrittämisessä käytetään apuna noki-itiön kokoa, väriä, muotoa, pintakuviointia, itämistäpää, isäntäkasvilajia ja sienien aiheuttamia oireita.

4.4.5.2.1 Luokka: *Ustilaginomycetes*

Ustilaginomycetes luokkaan kuuluu kaksi tärkeää heimoa Ustilaginales ja Urocystidiales. Ustilaginales-lajit tuottavat noki-itiönsä heinäkasvien tähkissä. Urocystiales-heimo nokia voi esiintyä kasvien varsissa ja lehdistä.

***Ustilaginomycetes*-luokan esimerkkilajeja:**

Ustilago avenae (Pers.) Rostr., Kauranavonoki

- kauran siementen pinnalla leviävä helposti peittauksella torjuttava nokitauti
- Verraten yleinen, mutta harvoin aiheuttaa merkittäviä satotappioita

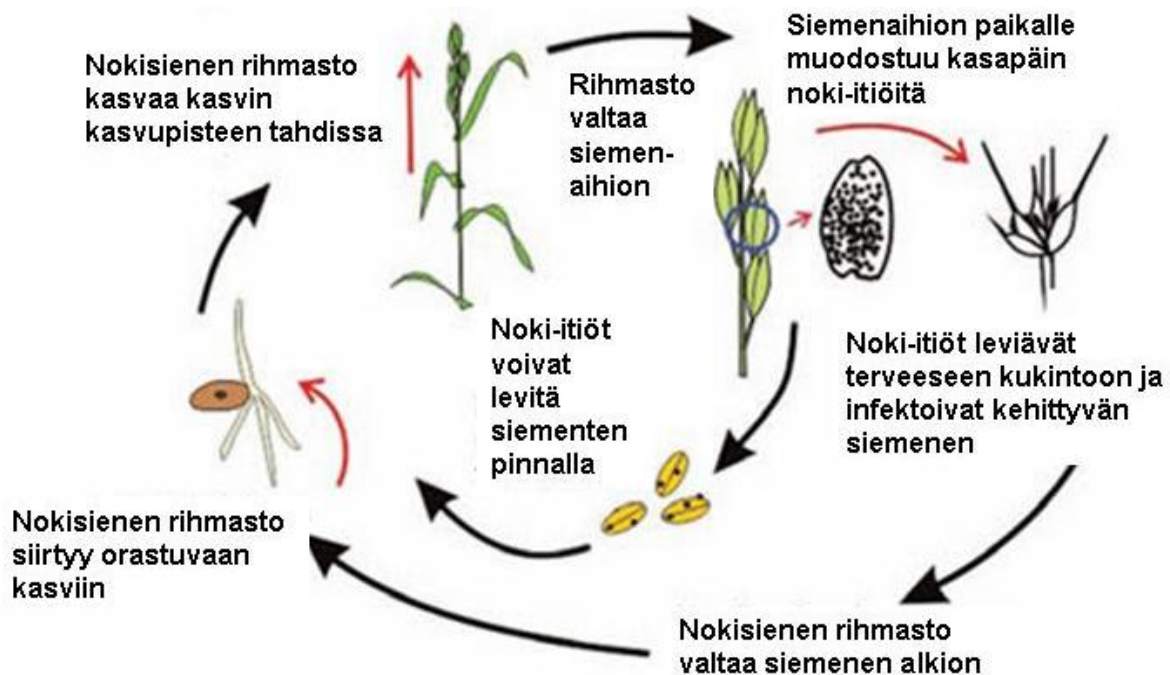
Ustilago hordei (Pers.) Lagerh., Ohrankätkönoki

- harvinainen ohran siemenissä leviävä nokitauti

Ustilago nuda f.sp. *hordei* Schaffnit, Ohranlentonoki

Ustilago nuda f.sp. *tritici* Schaffnit, Vehnälentonoki

- Lentonoot talvehtivat siemen alkiossa rihmastona aiheuttamatta siemenessä näkyviä vaurioita
- Torjutaan sisävaikutteisilla kasvinsuojeluaineilla
- Ohranlentonoki on melko yleinen, mutta vehnälentonoki on lähes hävinnyt, koska vehnänsiemen peitataan lähes rutiininomaisesti
- Mikäli kustannusten säästämiseksi peittausta vähennetään, nokitaudit voivat yleistyä hyvin nopeasti.



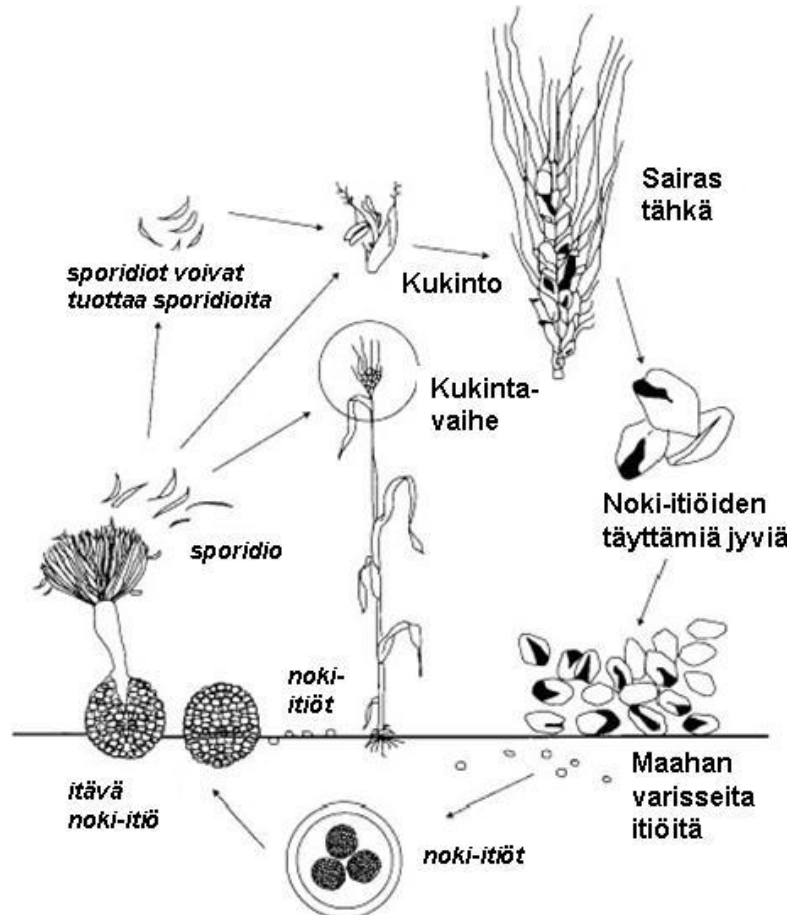
Kuva 42. Lentonoen elinkierto

Harjoitus 20: Noki-itiöiden vertailua mikroskoopilla

Erillinen työohje - tavoite opetella tunnistamaan noki-itiöiden pintarakenteita

4.4.5.2.2 Luokka: *Exobasidiomycetes*

Exobasidiomycetes-luokan sienet aiheuttavat kasveihin erilaisia epämuodostumia ja kasvaimia. Luonnossa tapaa melko usein mm. puolukanpöhötautia. Hiljakkoin myös osa nokitauideista on siirretty tähän luokkaan.



Kuva 43. Haisunoen elinkierto

***Exobasidiomycetes*-luokan esimerkkilajeja:**

Tilletia caries (DC.) Tul. & C. Tul.

Tilletia laevis J.G. Kühn

- Verkkopintainen ja sileä haisunoki esiintyvät meillä lähinnä vehnässä
- Haisunoen pahasti tartuttama erä haisee erittäin epämiellyttävälle, se ei kelpaa elintarvekkeiden eikä rehujen raaka-aineeksi
- Tauti torjutaan helposti kylvösiemene peittauksella
- Suomessa tauti on nykyisin hyvin harvainen ja sitä esiintyy lähinnä luomutiloilla
- Mikäli kustannusten säästämiseksi peittausta vähennetään, haisunoki voi yleistyä hyvin nopeasti.

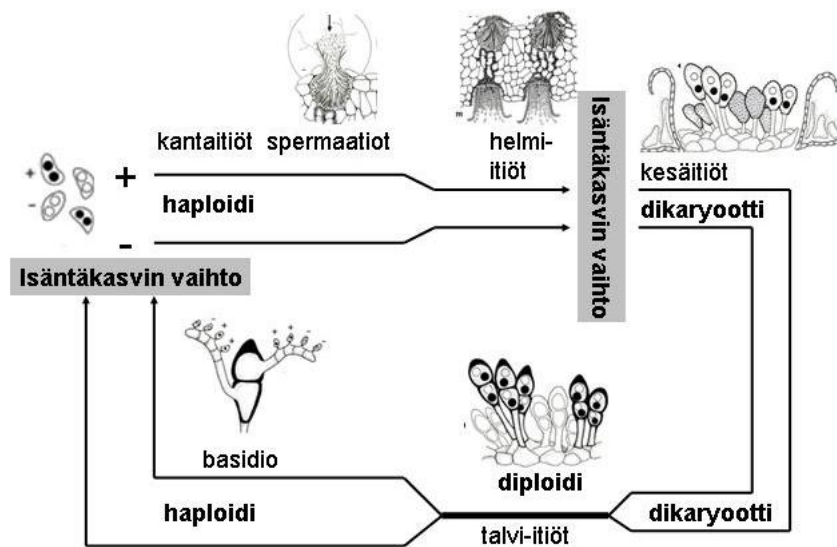
4.4.5.3 Alakaari: *Pucciniomycotina* - ruostesienet

Ruostesienet ovat taloudellisesti merkittäviä sienitauteja metsä-, puutarha- ja peltokasveilla. Ne ovat kasvien ehdottomia loisia ja ne ottavat ravintonsa kasvista imurihoillaan (haustorio). Monet ruostesienet elävät osan elämästään tietyllä kasvilajilla ja osan jollakin toisella. Ruostesienillä talvi-itiöistä kehittyvä itiökanta (basidio, promykelio, alkeisrihma) on nelisolainen, jonka kustakin

solusta syntyy kantaitiö (basidiospori) sterigman päähän. Talvi- ja kesäitiöiden suojana ei ole itiöemää.

Taulukko 4. Ruostesienten täydellisen elinkierron viisi itiövaihetta.

Itiövaiheen merkintä numeroin	Itiön nimi	Itiöiden muodostumispaikka
0	Pikkukuroma Pykniospori Spermaatio	Pikkukuromapullo Pyknio (Pyknidio) Spermagonio
I	Helmi-itiö Ekiospori (Ekdiospori)	Helmi-itiöryhmä Ekio (Ekdio)
Isäntäkasvin vaihto		
II	Kesäitiö Uredinospori (Uredospori)	Kesäitiöryhmä Uredinio (Uredio)
III	Talvi-itiö Teliospori (Teleutospori)	Talvi-itiöryhmä Telio
IV	Kantaitiö Basidiospori	Itiökanta Basidio



Kuva 44. Ruosteiden elinkierto, jossa on kaikki 5 itiövaihetta

Eräiltä ruostesieniltä puuttuu yksi tai useampia itiöasteita. Suurin osa ruostesienistä on isäntäkasvia vaihtavia: spermaatiot ja ekiosporit kehittyvät eri kasveilla kuin uredinio- ja teliosporit. Eräät ruostesienet elävät koko ajan samalla isäntäkasvilla (yksi-isäntäinen).

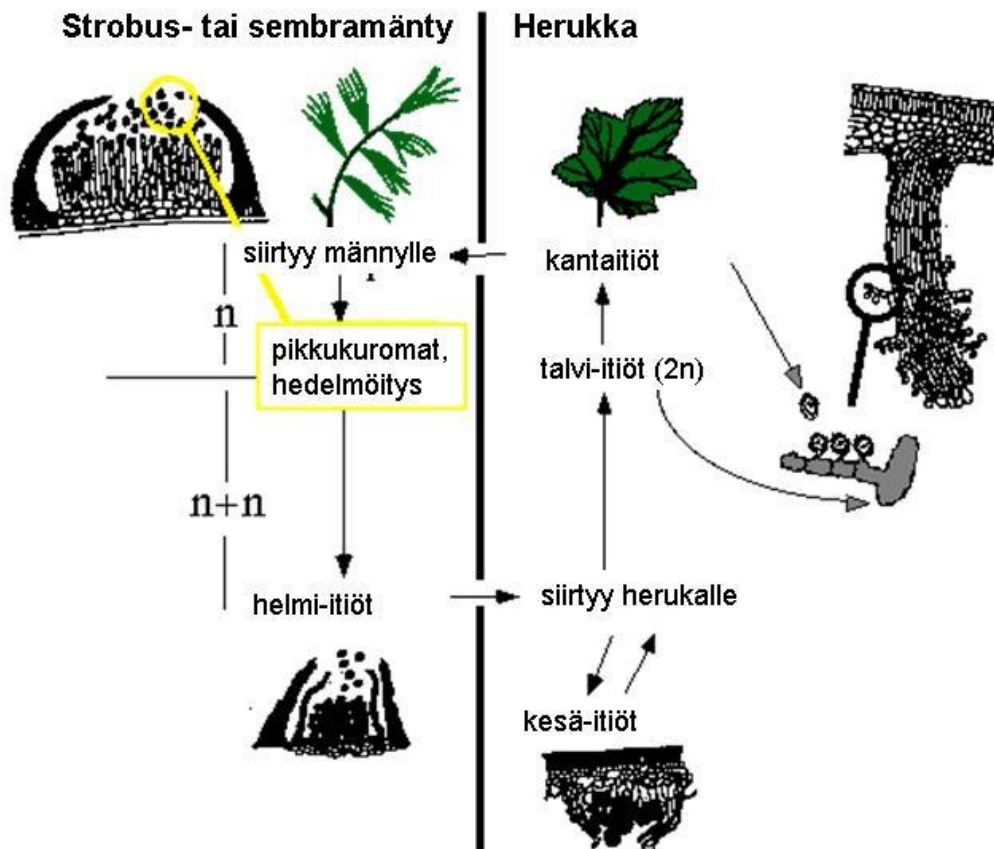
4.4.5.3.1 Luokka: *Pucciniomycetes*

Kaikki merkittävät ruostesienet luetaan nykyisin *Puccinales*-heimoon. Kuvatuista 7400 ruostelajista 95 % kuuluu tähän ryhmään. Tavallisimmat suvut ovat *Puccinia*, *Cronartium*, *Melampsora* ja *Phragmidium*. Ruosteet eivät aiheuta ongelmia läheskään joka vuosi. Viljakasveilla pahoja ruostevuosia on arviolta 1 kesänä kymmenestä. Ruostevuosina itiöitä voi syntyä niin paljon, että itiöt näkyvä ruskeina lauttoina vesistöissä.

Pucciniomycetes-luokan esimerkkilajeja:

Cronartium ribicola J.C. Fisch., Herukanvillaruoste, valkomännyntervasroso

- Herukanvillaruoste muodostaa sembra- tai strobustumännillä helmi-itiöasteen, kesä- ja talvi-itiöasteet kehittyvä herukalla.
- Esiintyy herukoissa, jos lähistöllä on sopivia mäntylajeja



Kuva 46. Herukanvillaruosteen elinkierto

Harjoitus 22: Ruostesienten erilaisten itiömuotojen vertailua

Erillinen työhöje - tavoite opetella tunnistamaan ruostesienten erilaisia itiöitä erilaisilla kasveilla

4.4.6 Endofyytit

Endofyytit ovat kasvien versojen solujen väleissä eläviä sieniä, joista ei ole kasville haittaa. Endofyytit hyödyttävät kasvia suojaamalla kasveja niitä syövilä eläimiltä, parantamalla niiden kuivuuden- ja kuumuudenkestävyyttä sekä lisäämällä patogeeniresistenssiä ja itävyyttä. Endofyyttien yleisyydestä on vielä varsin vähän tietoa. Niitä on tutkittu erityisesti ruhovartisten kasvien versoissa, sillä rehuna käytettävät endofyyttisiä sieniä sisältävät heinäkasvit saattavat olla tappavan myrkyllisiä. Monet tutkitut endofyytit kuuluvat kotelosienten kaareen (esim. *Cochliobolus*, *Epichloë*, *Neotyphidium*). Kasvien lehdet saattavat siis sisältää suuria määriä sienirihmastoa, joka ei aiheuta kasvitautia.

4.4.7 Mykorrhitsaa (sienijuuria) muodostavia sieniä

Mykorrhitsa on sienen ja isäntäkasvin symbioosisuhteeseen perustuva toiminnallinen kokonaisuus. Useimmiten symbioosisuhde on mutualistinen, mutta se voi olla myös parasiittinen. Parasiittina voi elää joko sieni tai kasvi. Mykorrhitsat voidaan jaotella karkeasti kahteen ryhmään, ektomykorrhitsoihin ja endomykorrhitsoihin. Ektomykorrhitsa muuttaa selkeästi juuren ulkonäköä ja sienirihmat ovat siinä helposti nähtävissä. Endomykorrhitsojen sienikolonisaatio ei näy paljain silmin värjäämättömästä juuresta.

Ektomykorrhitsa

Ektomykorrhitsa on puiden vallitseva mykorrhitsatyyppejä. Lähes kaikki viileän vyöhykkeen puut ovat ektomykorrhitsallisia. Ektomykorrhitsaa muodostavia sieniä on varsinkin Agaricales-lahkossa. Näitä ovat esimerkiksi haperot, rouskut, tatit ja seitikit. Myös jotkut kotelo- ja yhtymäsienet voivat muodostaa ektomykorrhitsaa. Ektomykorrhitsan muodostuessa hienijuurien määrä ja haaroittuminen lisääntyy ja sienirihmat muodostavat tiiviin kerroksen, vaipan, juuren ympärille. Sienirihmat tunkeutuvat juuren kuorikerroksen solujen väleihin muodostaen Hartigin verkon.

Endomykorrhitsat

Endomykorrhitsatyyppejä on useita. Näistä tärkeimmät ovat 1) arbuskulaari-, 2) erikoidi- ja 3) kämmekkämykorrhitsat. Omantyyppisiään ja usein sientä parasiittisesti hyväkseen käyttäviä mykorrhitsoja muodostavat lisäksi jotkut Ericales-lahkon kasvit.

1) Arbuskulaarimykorrhitsa (katso s. 25).

2) Erikoidimykorrhitsa

Kanervakasvit kuten *Calluna*, *Erica* ja *Vaccinium* –kasvisukujen edustajat muodostavat erikoidimykorrhitsaa kotelo- ja kantasienten kanssa karuilla kasvupaikoilla.

3) Kämmekkämykorrhitsa

Kämmekkäkasvit (Orchidaceae) muodostavat kämmekkämykorrhitsaa joidenkin kantasienten (esim. *Armillaria*, *Corticium*, *Rhizoctonia*) kanssa. Monet kämmekkäkasvien mykorrhitsasienet kuuluvat patogeeneja ja lahottajia sisältäviin sieniryhmiin. Kämmekkäkasvit osaavat kuitenkin käyttää näitä sieniä hyväkseen ja ovat usein riippuvaisia sienikumppaneistaan jopa hiilihydraattien saannissa. Lehtivihreättömät kämmekät elävät täysin sienten parasiitteina.

5. Hyvä tietää vanhasta morfologisesta aitojen sienten luokittelusta

Miltei kaikki painettu kasvipatologian oppimateriaali, myös Agrios (2005) noudattelee vielä vanhaa morfologista kasvitautien luokittelujärjestelmää. Tällä kurssilla noudatettava fylogeneettinen luokittelu on kuitenkin se järjestelmä, johon kaikki uudet oppikirjat tullaan muokkaamaan, kun niistä tehdään uusia painoksia. Vanhaa järjestelmää kenenkään ei kannata opetella syvällisesti, mutta on hyvä tietää, mistä ryhmistä tärkeimmät kasvitaudit löytyvät vanhoissa oppikirjoissa.

Suurin muutos on tapahtunut anamorffisten kotelosientien ryhmittelyssä. Anamorffisille lajeille oli vanhassa järjestelmässä varattu oma luokkansa: *Deuteromycotina* (*Fungi imperfecti*, *mitoottiset sienet*). Nykyisessä järjestelmässä nämä lajit on siirretty aitojen sukulaistensa seuraan. Tämä on yksinkertaistanut luokittelua erittäin paljon ja lähentänyt kasvipatologien ja sienitieteilijöiden näkemyksiä. Vanhan järjestelmän mikroskooppiset tuntomerkit ovat edelleen tärkeitä lajitunnistuksessa, vaikka ne eivät enää ole taksonomisen järjestelmän perusta.

Vanha Deuteromyces-luokan jaottelu ja muutamia esimerkkilajeja

Ryhmä Coelomyces – vaillinaispesäkkeiset

Lahko: Sphaeropsidales – kuromapulloiset

- *Phoma, Septoria, Stagonospora, Ascochyta*

Lahko: Melanconiales – kuromapatjaiset

- *Colletotrichum*

Ryhmä Hyphomyces – vaillinaisrihmaiset

Lahko: Hyphomycetales – ketjurihmaiset

"vaaleat ketjurihmaiset"

- *Aspergillus, Penicillium*
- *Botrytis*
- *Verticillium*

"tummat ketjurihmaiset"

- *Alternaria*
- *Cladosporium*
- *Drechslera*
- *Helminthosporium*
- *Mycocentrospora*
- *Ulocladium*

Lahko: Tuberculariales – sporodokkioita muodostavat

- *Fusarium*

Lahko: Agonomycetales "martorihmaiset"

- *Sclerotium, Rhizoctonia*

Kotelosienten suvullisten asteiden luokittelu perustui ennen itiöemien rakenteeseen ja itiökoteloiden syntytapaan ja rakenneominaisuuksiin. Monet luokittelun pohjana olleet rakenneominaisuudet olivat hienorakenteita, joita oli lähes mahdotonta käytännön mikroskooppityöskentelyssä nähdä. Fylogeneettinen luokitus ei silti ole lopultakaan muuttanut radikaalisti vanhaa järjestelmää, vaikka luokittelu nyt perustuukin DNA:han, ei mikroskooppiin ominaisuuksiin. Käytännössä miltei kaikki kasvipatogeenit kotelosienet tunnistetaan anamorfiin perusteella.

Vanha Ascomycetes- kaaren jaottelu ja vastaavuus nykyiseen luokitteluun

Luokka: Taphrinomyces – paljaskoteloiset vastaa nykyistä *Taphrinomycotina* alakaarta

Luokka: Saccharomyces – hiivamaiset kotelosienet vastaa nykyistä *Saccharomycotina* alakaarta

Luokka: Filamentous ascomycetes – vastaa nykyistä *Pezizomycotina* alakaarta

Ryhmä "kotelorakkoiset" – vastaa nykyistä *Eurotiomyces*-luokkaa, mutta härmäsienet on siirretty *Leotiomyces*-luokkaan

Ryhmä "kotelopulloiset" – vastaa nykyistä *Sordariomyces*-luokkaa

Ryhmä "lokerokoteloiset" – vastaa nykyistä *Dothideomyces*-luokkaa

Ryhmä "kotelomaljaiset" – vastaa nykyistä *Leotiomyces*-luokkaa, johon on lisäksi siirretty härmäsienet

Kantasienten fylogeneettinen ryhmittely on muuttanut melko vähän vanhaa järjestelmää. Joitakin luokkia on järjestelty uudelleen ja muutamia lajeja on siirretty luokasta toiseen. Alakaarten keskinäisiä sukuhuhteita on täsmennetty

6. Kasvitautinäytteiden kerääminen

Harjoitustöiden hyväksytyä suorittamista varten jokaisen opiskelijan tulee itsenäisesti kerätä ja määrittää vähintään **20** kasvitautinäytettä.

Tautinäytteiden tulee edustaa pääasiassa maatalous- ja/tai puutarhakasvien **sienitauteja**, mukaan voi sisällyttää enintään kolme metsäpuiden tautia tai puutavaran/puuaineksen lahottajasieniä. Näytteet on tänä vuonna tarkoitus kerätä ja tunnistaa kurssin aikana.

Kerätyissä näytteissä tulee olla seuraavat tiedot:

- taudinaiheuttajan tieteellinen nimi
- (taudin suomen- tai ruotsinkielinen nimi)
- isäntäkasvi
- keräyspaikka (paikkakunta)
- lyhyt kuvaus taudin vaikutuksista kasvustoon
- keräysaika
- kerääjän nimi

Sieninäytteiden käsittelyssä tulee olla huolellinen, sillä kasvinäytteiden pinnalla olevat homesienet pilaavat helposti näytteen. Kasvinäytteet tuleekin kerätä ehdottomasti paperipussiin, jolloin ne eivät esimerkiksi pitkän kuljetuksen aikana ehdi pilaantua. Homesienien välttämiseksi pienet, ohuet kasvinäytteet kannattaa kuivata hyvin, esim. puhelinluettelon välissä. Muut vesipitoisemmat kasvinäytteet voi pakata paperipussiin ja säilyttää viileässä paikassa, suojassa auringon paisteelta. Tarkastukseen jätettäessä tautinäytteet asetellaan taitetun paperin väliin, kirjekuoreen tai paperipussiin, jonka päälle on kirjoitettu yllä mainitut tiedot. Voit halutessasi ottaa tuoreesta näytteestä kuvan ja liittää sen kuivatun näytteen mukaan.

Tautinäytteitä etsiessä kannattaa maastossa liikkua usein ja eri vaiheissa kasvukautta. Keväällä, lumen sulettua on mahdollista löytää talven aikana tuhoa aiheuttavia taudinaiheuttajia. Keskikesällä taudinaiheuttajia löytyy etenkin varjoisilta ja kosteilta alueilta tai kasvustojen alaosista ja kesän lopulla kasvitauteja on runsaasti lähes kaikilla kasveilla. Satotuotteita vaurioittavia tauteja löytyy myös helposti tavallisten kauppojen vihannes- ja hedelmätiskeiltä.

7. Suomen yleisimmät kasvitaudit

ELIÖKUNTA: *Stramenopila (Chromista)*

KAARI: *Oomycota*

LUOKKA: *Oomycetes*

LAHKO: *Saprolegniales*

Taimipolte- ja juuristotauteja, *Aphanomyces cochlioides* Drechsler

Herneenlakaste, *Aphanomyces euteiches* Drechsler

LAHKO: *Peronosporales*

Salaatinlehtihome, *Bremia lactucae* Regel

Ristikukkaistenlehtihome, *Hyaloperonospora parasitica* (Pers.) Constant.

Sipulinnaattihome, *Peronospora destructor* (Berk.) Casp.: Berk

Apilanlehtihome, *Peronospora trifoliorum* de Bary

Herneenlehtihome, *Peronospora viciae* (Berk.) de Bary

Tyvimätä, nahkamätä, *Phytophthora cactorum* (Lebert & Cohn) J. Schröt.

Perunanpunamätä, *Phytophthora erythroseptica* Pethybr.

Mansikanpunamätä, *Phytophthora fragariae* Hickman (ei vielä Suomessa)

Perunarutto, *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary

Kaalirutto, *Phytophthora porri* Foister

Versopolte, Tammen äkkikuolema, *Phytophthora ramorum* Werres, De Cock & Man

Ei suomenkielistä nimeä, *Phytophthora quercina* T. Jung

Viinilehtihome, *Plasmopara viticola* (Berk. & M.A. Curtis) Berl. & De Toni (ei

Suomessa)

Kurkunlehtihome, *Pseudoperonospora cubensis* (Berk. & M.A. Curtis) Rostovzev

LAHKO: *Albuginales*

Kalkkihime, *Albugo candida* (Pers.) Roussel

LAHKO: *Pythiales*

Taimipolte- ja juuristotauteja, *Pythium aphanidermatum* (Edson) Fitzp.

Taimipolte- ja juuristotauteja, *Pythium debaryanum* R. Hesse

Taimipolte- ja juuristotauteja, *Pythium ultimum* Trow

ELIÖKUNTA: *Rhizaria (Cercozoa)*

KAARI: *Endomyxa*

LUOKKA: *Phytomyxea*

LAHKO: *Plasmodiophorida*

Möhöjuuri, *Plasmodiophora brassicae* Woronin

Ei suomenkielistä nimeä, *Polymyxa betae* Keskin

=> Levittää Juurikkaan nekroottista keltasuonivirusta (Rhizomania)

Ei suomenkielistä nimeä, *Polymyxa graminis* Ledingham

=> Levittää vehnän keltamosaiikkivirusta

Kuorirokko, *Spongospora subterranea* (Wallr.) Lagerh.

=> Levittää perunanmaltokaarivirusta (PMTV)

ELIÖKUNTA: *Amoebozoa*

KAARI: *Eumycetozoa*

LUOKKA: *Myxogastrea*

LAHKO: *Stremonitida*

Diachea leucopoda (Bull.) Rostaf

Kääminen, *Stemonitis fusca* Roth

LAHKO: *Physarida*

Paranvoi, *Fuligo septica* (L.) F.H. Wigg

Paransylki, *Mucilago crustacea* P. Micheli ex F.H. Wigg.

ELIÖKUNTA: *Fungi*

KAARI: *Chytridiomycota*

LUOKKA: *Chytridiomycetes*

Mustajuuritauti, *Olpidium brassicae* (Woronin) P.A. Dang

LAHKO: *Chytridiales*

Perunasyöpä, *Synchytrium endobioticum* (Schilb.) Percival

KAARI: *Zygomycota*

LUOKKA: *Mucoromycotina*

LAHKO: *Mucorales*

'Hillohome', *Mucor mucedo* Fresen.

Leipähime, *Rhizopus stolonifer* (Ehrenb.) Vuill.

KAARI: *Glomeromycota*

LUOKKA: *Glomeromycetes*

LAHKO: *Diversisporales* VA-mykorritsat, ei suomenkielisiä nimiä

Acaulospora laevis Gerd. & Trappe

Gigaspora gigantea (T.H. Nicolson & Gerd.) Gerd. & Trappe

Scutellospora calospora (T.H. Nicolson & Gerd.) C. Walker & F.E. Sanders

LAHKO: *Glomerales*

Glomus aggregatum N.C. Schenck & G.S. Sm., *Mycologia* 74(1): 80 (1982)

SIENIKUNNAN SUKUHAARA: *Dikarya*

KAARI: *Ascomycota*

ALAKAARI: *Taphrinomycotina*

LUOKKA: *Taphrinomycetes*

LAHKO: *Taphrinales*

Koivuntuulenpesä, *Taphrina betulina* Rostr.

Luumunpussitauti, *Taphrina pruni* Tul.

ALAKAARI: *Saccharomycotina*

LUOKKA: *Saccharomycetes*

LAHKO: *Saccharomycetales*

Leivinihiiva, *Saccharomyces cerevisiae* Meyen: E.C. Hansen

ALAKAARI: *Pezizomycotina*

Lajit, joita ei vielä pystytä sijoittamaan muihin *Pezizomycotina*-ryhmiin

Anamorfisia lajeja:

Omenannokilaikku, *Gloeodes pomigena* (Schwein.) Colby, (*Phyllachora pomigena*)

Heinänlehtilaikku, *Mastigosporium album* Riess

Perunankänsärupi, *Polyscytalum pustulans* (M.N. Owen & Wakef.) M.B. Ellis

LUOKKA: *Dothideomycetes*

LAHKO: *Capnodiales*

Manikanrengaslaikku, *Mycosphaerella fragariae* (Tul.) Lindau

anamorfi: *Ramularia tulasnei* Sacc.

Harmaalaikku, *Mycosphaerella graminicola* (Fuckel) J. Schröt.

anamorfi: *Septoria tritici* Berk. & M.A. Curtis

Herneenlehtilaikku, *Mycosphaerella pinodes* (Berk. & A. Bloxam) Vesterg.

anamorfi: *Ascochyta pinodes* L.K. Jones

Herukanharmaalaikku, *Mycosphaerella ribis* (Fuckel) Lindau, (1903)

anamorfi: *Septoria ribis* (Lib.) Desm.

Neilikanversotauti, *Mycosphaerella dianthi* (C.C. Burt) Jørst

Anamorfisia lajeja

Sellerinlehtilaikku, *Cercospora apii* Fresen.

Juurikkaanruskearengaslaikku, *Cercospora beticola* Sacc.

Porkkananlehtipolte, *Cercospora carotae* (Pass.) Kazn. & Siemaszko

Perunanlehtilaikku, *Passalora concors* (Casp.) U. Braun & Crous

(*Cercospora concors*)

Tomaatinlehtilaikku, *Passalora fulva* (Cooke) U. Braun & Crous

(*Cladosporium fulvum*)

Juurikkaanlehtilaikku, *Ramularia betae* Rostr.

Juurikkaanharmaalehtilaikku, *Ramularia beticola* Fautrey & Lambotte

Pantterilaikku, *Ramularia collo-cygni* B. Sutton & J.M. Waller
Sellerinlehtilaikku, *Septoria apiicola* Speg.
Persiljanlehtilaikku *Septoria petroselini* Desm.
Luumunhaulitauti, *Stigmia carpophila* (Lév.) M.B. Ellis
Cladosporium-homeet, *Cladosporium herbarum* (Pers.) Link

LAHKO: *Myriangiales*

Vadelmanversorupi, *Elsinoë veneta* (Burkh.) Jenkins

LAHKO: *Pleosporales*

Ruskolaikku, *Phaeosphaeria nodorum* (E. Müll.) Hedjar.

anamorfi: *Stagonospora nodorum* (Berk.) E. Castell. & Germano

Kauranharmalaikku, *Phaeosphaeria avenaria f.sp. avenaria* O.E. Erikss.

anamorfi: *Stagonospora avenae* (A.B. Frank) Bissett

Ohrantyyvi- ja lehtilaikku, *Cochliobolus sativus* (S. Ito & Kurib.) Drechsler: Dastur

anamorfi: *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker

Juurikkaankehälaikku, *Pleospora betae* Björl.

Phoma betae A.B. Frank

Kauranlehtilaikku, *Pyrenophora chaetomioides* Speg.

anamorfi: *Drechslera avenae* (Eidam) Scharif

Ohranviirutauti, *Pyrenophora graminea* S. Ito & Kurib.

anamorfi: *Drechslera graminea* (Rabenh. ex Schltdl.) Ito{?}

Ohranverkkolaikku, *Pyrenophora teres* Drechsler

anamorfi: *Drechslera teres* (Sacc.) Shoemaker

Pistelaikku, *Pyrenophora tritici-repentis* (Died.) Drechsler

anamorfi: *Drechslera tritici-repentis* (Died.) Shoemaker

Vadelmanversotauti, *Leptosphaeria coniothyrium* (Fuckel) Sacc.

anamorfi: *Coniothyrium fuckelii* Sacc.

Ristikukkaistenkuivamätä, *Leptosphaeria maculans* (Desm.) Ces. & De Not.

anamorfi: *Phoma lingam* (Tode) Desm.

Omenarupi, *Venturia inaequalis* (Cooke) G. Winter

anamorfi: *Spilocaea pomi* Fr.

Päärynärupi, *Venturia pirina* Aderh.

Haavanversotauti, *Venturia populina* (Vuill.) Fabric.

Vadelmanversotauti, *Didymella appplanata* (Niessl) Sacc.

anamorfi: *Phoma argillacea* (Bres.) Aa & Boerema

Kurkunmustapistemätä, *Didymella bryoniae* (Fuckel) Rehm

Phoma cucurbitacearum (Fr.) Sacc.

Tomaativersosyöpä, *Didymella lycopersici* Kleb.

Phoma lycopersici (Plowr.) Jacz.

Perunankuoppalaho, *Boeremia exigua* (Foister) Aveskamp, Gruyter & Verkley

anamorfi: *Phoma exigua* var. *exigua* Sacc.

Perunankuoppalaho, *Boeremia foveata* (Foister) Aveskamp, Gruyter & Verkley

anamorfi: *Phoma exigua* var. *foveata* (Foister) Boerema

Anamorfisialajeja:

Alternaria-homeet, *Alternaria alternata* (Fr.) Keissl.

Taimipolte, Mustalaikku, *Alternaria brassicae* (Berk.) Sacc.

Taimipolte, Mutalaikku, *Alternaria brassicicola* (Schwein.) Wiltshire

Porkkananlehtipolte, *Alternaria dauci* (J.G. Kühn) J.W. Groves & Skolko

Persiljanlehtilaikku, *Alternaria petroselini* (Neerg.) E.G. Simmons
 Taimipolte, *Alternaria radicina* Meier, Drechsler & E.D. Eddy
 (*Stemphylium radicinum*)
 Perunanlehtipolte, *Alternaria solani* Sorauer
 Taimipolte, *Stemphylium botryosum* Sacc.
Epicoccum nigrum Link.
Ulocladium consortiale (Thüm.) E.G. Simmons
 Versotauti, *Coniothyrium wernsdorffiae* Laubert
Paraconiothyrium minitans (W.A. Campb.) Verkley
 Perunanharmaahilse, *Helminthosporium solani* Durieu & Mont.
 Herneenlehtilaikku, *Ascochyta pisi* Lib.
 Lehtilaikku, *Ascochyta syringae* Bres.
 Porkkananmustamätä, *Mycocentrospora acerina* (R. Hartig) Deighton
 Sellerinlehtilaikku, *Phoma apiicola* Kleb.
 Perunankuivamätä, *Phoma eupyrena* Sacc.
 Herneenlehtilaikku, *Phoma pinodella* (L.K. Jones) Morgan-Jones & K.B.
 Burch

LUOKKA: *Eurotiomycetes*

LAHKO: *Eurotiales*

Eurotium spp.

Emericella spp.

Eupenicillium spp.

Talaromyces spp.

anamorfit: nuijahomeet

Aspergillus flavus Link

Aspergillus niger var. *niger* Tiegh.

Anamorfit: pensselihomeet

Penicillium roqueforti Thom

Penicillium expansum Link

LUOKKA: *Leotiomycetes*

LAHKO: *Erysiphales*

Heinäkasvienhärmä, *Blumeria graminis* (DC.) Speer

Tammenhärmä, *Erysiphe alphitoides* (Griffon & Maubl.) U. Braun & S. Takam.

Juurikkaanhärmä, *Erysiphe betae* (Vaňha) Weltzien

Ristikukkaistenhärmä, *Erysiphe cruciferarum* Opiz ex L. Junell

Herneenhärmä, *Erysiphe pisi* var. *pisii* DC.

Mykerökukkaistenhärmä, *Golovinomyces cichoracearum* var. *cichoracearum* (DC.)
 V.P. Heluta

Apilanhärmä, *Microsphaera trifolii* (Grev.) U. Braun

Vaahteranhärmä, *Phyllactinia guttata* (Wallr.) Lév.

Mansikanhärmä, Vadelmanhärmä, *Podosphaera aphanis* (Wallr.) U. Braun & S.
 Takam.

Kurkunuhärmä, *Podosphaera fuliginea* (Schltld.) U. Braun & S. Takam.

Omenanhärmä, *Podosphaera leucotricha* (Ellis & Everh.) E.S. Salmon

Mansikanhärmä, *Podosphaera macularis* (Wallr.) U. Braun & S. Takam.

Herukanhärmä, *Podosphaera mors-uvae* (Schwein.) U. Braun & S. Takam.

Ruusunuhärmä, *Podosphaera pannosa* (Wallr.) de Bary

LAHKO: *Helotiales*

- Muumiotauti, *Monilinia fructigena* Honey)
anamorfi: *Monilia fructigena* (Pers.) Pers.
- Lännenmuumiotauti, *Monilinia fructicola* (G. Winter) Honey
anamorfi: *Monilia fructicola* L.R. Batra
- Pohjanpahkahome, *Sclerotinia borealis* Bubák & Vleugel
Pahkahome, *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary
Apilamätä, *Sclerotinia trifoliorum* Erikss.
- Herukanvaristetauti, *Drepanopeziza ribis* (Kleb.) Höhn.
Ruusunmustalaikku, *Diplocarpon rosae* F.A. Wolf
Omenanvarastolaikku, *Neofabraea malicorticis* H.S. Jacks. (*Pezicula malicorticis*)
Vehnäntyvilaikku, *Oculimacula yallundae* (Wallwork & Spooner) Crous & W. Gams
Anamorfi: *Pseudocercospora herpotrichoides* (Fron) Deighton var.
herpotrichoides
- Rukiintyvilaikku, *Oculimacula acufiformis* (Boerema, R. Pieters & Hamers) Crous & W. Gams
Anamorfi: *Pseudocercospora herpotrichoides* var. *acufiformis*
Nirenberg
- Anamorfisia lajeja:
Purjonharmaahome, *Botryotinia porri* (J.F.H. Beyma) Whetzel
Sipulinharmaahome, *Botrytis allii* Munn
Yleinen harmaahome, *Botrytis cinerea* Pers.
Härkäpavunsuklaalaikku, *Botrytis fabae* Sardiña
Kirsikanversotauti, *Monilia laxa* (Ehrenb.) Sacc. & Voglino
Sipulinpahkamätä, *Stromatinia cepivora* (Berk.) Whetzel (*Sclerotium cepivorum*)
Ohranrengaslaikku, *Rhynchosporium secalis* (Oudem.) Davis

LAHKO: *Rhytismatales*

- Vaahterantervatäplätauti, *Rhytisma acerinum* (Pers.) Fr.

LUOKKA: *Sordariomycetess*

LAHKO: *Hypocreales*

- Torajyvä, *Claviceps purpurea* (Fr.) Tul.
Heinienkäämitauti, *Epichloë typhina* (Pers.) Tul. & C. Tul.
Punahome, tähkäfusarioosi, tyvifusarioosi, kuivamätä, *Gibberella avenacea* R.J. Cook
anamorfi: *Fusarium avenaceum* (Fr.) Sacc.
- Tähkäfusarioosi, tyvifusarioosi, *Gibberella intricans* Wollenw.
anamorfi: *Fusarium equiseti* (Corda) Sacc.
- Tähkäfusarioosi, tyvifusarioosi, kuivamätä, *Gibberella pulicaris* (Fr.) Sacc.
anamorfi: *Fusarium sambucinum* Fuckel
- Tähkäfusarioosi, *Gibberella tricineta* El-Gholl, McRitchie, Schoult. & Ridings
anamorfi: *Fusarium tricineta* (Corda) Sacc.
- Tähkäfusarioosi, *Gibberella zeae* (Schwein.) Petch
anamorfi: *Fusarium graminearum* Schwabe
- Lakastumistauti, kuivamätä, *Haematonectria haematococca* (Berk. & Broome) Samuels & Rossman
anamorfi: *Fusarium solani* (Mart.) Sacc.
- Punapahka, *Nectria cinnabarina* (Tode) Fr.

Hedelmäpuunsyöpä, *Neonectria galligena* (Bres.) Rossman & Samuels
Keltaviirutauti, *Hymenula cerealis* Ellis & Everh.

anamorfi: *Cephalosporium gramineum* Y. Nisik. & Ikata

Anamorfisialajeja:

Tyvifusarioosi, *Fusarium crookwellense* L.W. Burgess, P.E. Nelson & Toussoun

Tähkäfusarioosi, tyvifusarioosi, kuivamätä, *Fusarium culmorum* (W.G. Sm.) Sacc.

Tähkäfusarioosi, *Fusarium langsethiae* Torp & Nirenberg

Lakastumistauti, Juuristotauti, *Fusarium oxysporum* Schldtl.

Tähkäfusarioosi, *Fusarium poae* (Peck) Wollenw.

Lakastumistauti, *Fusarium redolens* Wollenw.

Tähkäfusarioosi, *Fusarium sporotrichioides* Sherb.

Volutella ciliata (Alb. & Schwein.) Fr.

Trichoderma viride Pers.

Trichoderma harzianum Rifai.

Clonostachys rosea f. *rosea* (Link) Schroers (*Gliocladium roseum*)

Clonostachys rosea f. *catenulata* (J.C. Gilman & E.V. Abbott) Schroers
(*Gliocladium catenulatum*)

Stachybotrys chartarum (Ehrenb.) S. Hughes (1958)

LAHKO: *Microascales*

Ceratocystis paradoxa (Dade) C. Moreau

Chalaropsis thielavioides Peyronel

Anamorfisialajeja

Thielaviopsis basicola (Berk. & Broome) Ferraris

Graphium fructicola Marchal & É.J. Marchal

LAHKO: *Ophiostomatales*

Jalavatauti, *Ophiostoma ulmi* (Buisman) Nannf.

LAHKO: *Diaporthales*

Valsa ceratosperma (Tode) Maire

Mansikanruskomätä, *Gnomonia comari* P. Karst.

Anamorfisialajeja:

Kurkumustajuurimätä, *Phomopsis sclerotioides* Kesteren

LAHKO: *Xylariales*

Lumihome, *Monographella nivalis* var. *nivalis* (Schaffnit) E. Müll.)

Anamorfi: *Microdochium nivale* (Fr.) Samuels & I.C. Hallett

Anamorfisialajeja

Microdochium bolleyi (R. Sprague) de Hoog & Herm.-Nijh.

LAHKO: Ei ryhmytystä vielä mihinkään lahkoon

Kauranmustatyvitauti, *Gaeumannomyces graminis* var. *avenae* (E.M. Turner) Dennis

Heinämustatyvitauti, *Gaeumannomyces graminis* var. *graminis* (Sacc.) Arx & D.L. Olivier

Vehnänmustatyvitauti, *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* J. Walker

Omenanmätälaike, *Glomerella cingulata* (Stoneman) Spauld. & H. Schrenk

anamorfi: *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. & Sacc.

Anamorfisialajeja:

Mansikanmustalake, *Colletotrichum acutatum* J.H. Simmonds

Perunanmustapistetauti, *Colletotrichum coccodes* (Wallr.) S. Hughes
Pellavanversolaikku, *Colletotrichum linicola* Pethybr. & Laff.
Lakastumistauti, *Verticillium albo-atrum* Reinke & Berthold
Lakastumistauti, *Verticillium dahliae* Kleb.
Lakastumistauti, *Verticillium longisporum* (C. Stark) Karapapa, Bainbr. & Heale

SIENIKUNNAN SUKUHAARA: *Dikarya*

KAARI: *Basidiomycota*

ALAKAARI: *Agaricomycotina*

LUOKKA: *Agaricomycetes*

LAHKO: *Agaricales*

Mesisieni, *Armillaria mellea* (Vahl) P. Kumm.
Kärpässiieni, *Amanita muscaria* var. *muscaria* (L.) Lam.
Nurminahikas, *Marasmius oreades* (Bolton) Fr.
Mustapahkula, *Typhula incarnata* Lasch
Ruskopahkula, *Typhula ishikariensis* S. Imai
Pahkulahome, *Typhula setipes* (Grev.) Berthier
Hopeakiilto, *Chondrostereum purpureum* (Pers.) Pouzar

LAHKO: *Polyporales*

Taulakääpä, *Fomes fomentarius* (L.) J. Kickx f.
Pötkelökääpä, *Piptoporus betulinus* (Bull.) P. Karst.

LAHKO: *Russulales*

Juurikääpä, *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref.

LAHKO: *Cantharellales*

Terävä tyvilaikku, *Ceratobasidium cereale* D.I. Murray & Burpee
anamorfi: *Rhizoctonia cerealis* E.P. Hoeven
Perunaseitti, taimipolte, *Thanatephorus cucumeris* (A.B. Frank) Donk
anamorfi: *Rhizoctonia solani* J.G. Kühn
Anamorfisia lajeja
Seittimätä, *Rhizoctonia carotae* Rader

ALAKAARI: *Ustilaginomycotina*

LUOKKA: *Ustilaginomycetes*

LAHKO: *Ustilaginales*

Kauranavonoki, *Ustilago avenae* (Pers.) Rostr.
Ohrankätkönoki, *Ustilago hordei* (Pers.) Lagerh.
Ohranlentonoki, *Ustilago nuda* f.sp. *hordei* Schaffnit
Vehnälentonoki, *Ustilago nuda* f.sp. *tritici* Schaffnit
Rukiinkorsinoki, *Urocystis occulta* (Wallr.) Rabenh.
Sipulinnoki, *Urocystis cepulae* Frost

LUOKKA: *Exobasidiomycetes*

LAHKO: *Tilletiales*

Verkkopintainen haisunoki, *Tilletia caries* (DC.) Tul. & C. Tul.
Kääpiöhaisunoki, *Tilletia controversa* J.G. Kühn
Sileäpintainen haisunoki, *Tilletia laevis* J.G. Kühn

LAHKO: *Exobasidiales*

Puolukanpöhötäuti, *Exobasidium vaccinii* (Fuckel) Woronin

ALAKAARI: *Pucciniomycotina*

LUOKKA: *Pucciniomycetes*

LAHKO: *Pucciniales*

Pihlajankatajaruoste, *Gymnosporangium cornutum* Arthur ex F. Kern
Omenankatajaruoste, *Gymnosporangium tremelloides* R. Hartig
Herukansararuoste, *Puccinia caricina* var. *caricina* DC.
Rengasruoste, *Puccinia coronata* Corda, *Icon*.
Mustaruoste, *Puccinia graminis* Pers.
Ohranruoste, *Puccinia hordei* G.H. Otth
Ruskearuoste, *Puccinia recondita* Dietel & Holw.
Herukanruoste *Puccinia ribis* DC.
Keltaruoste, *Puccinia striiformis* var. *striiformis* Westend.
Pavunruoste, *Uromyces appendiculatus* F. Strauss
Juurikkaanruoste, *Uromyces beticola* (Belynyck) Boerema, Loer. & Hamers
Herneenruoste, *Uromyces pisi-sativi* (Pers.) Liro
Kuusensuopursuruoste, *Chrysomyxa ledi* var. *ledi* (Alb. & Schwein.) de Bary
Männynneulasruoste, *Coleosporium tussilaginis* (Pers.) Lév.
Männyntervasroso, *Cronartium ribicola* J.C. Fisch.
Pajunruoste, *Melampsora epitea* var. *epitea* Thüm.
Haavanruoste, *Melampsora laricis-populina* Kleb.
Pellavanruoste, *Melampsora lini* var. *lini* (Ehrenb.) Lév.
Männynversoruoste, *Melampsora pinatorqua*
Koivunruoste, *Melampsorium betulinum* (Pers.) Kleb.
Ruusunruoste, *Phragmidium mucronatum* (Pers.) Schltdl.
Vadelmanruoste, *Phragmidium rubi-idaei* (DC.) P. Karst.

8. Kasvipatologista ja sienitieteellistä sanastoa

Aflatoksiini = tiettyjen *Aspergillus* ja *Penicillium* -lajien tuottama sienimyrkky

Akervuli = kuromapatja, tiivis sienirihmakimppu, jossa on kuromankannattimia ja kuromia

Anamorfi = pleomorfisen sienien suvuton aste

Angiokarppinen = kantasiemen itiöemän kehitystyyppi, jossa itiöt kypsyvät suljetussa tilassa
itiöemän sisällä

Anteridio = siittiöpesäke

Apoteekio = kotelomalja, maljamainen kotelosienien itiöemä

Artrospori = suvuton itiö, joka syntyy rihmaston katketessa paloiksi

Askogeeninen rihma = kotelosienten kaksitumainen rihma, jonka kärkiosasta syntyy askus

Askogoni = solu(t), joka ottaa vastaan hedelmöitettävän tuman ja josta kehittyy askogeeninen
rihma

Askohymeniaalinen = askukset sijaitsevat itiölavassa (hymeeniossa)

Askokarppi = kotelosienien itiöemä

Askolokulaarinen = askukset sijaitsevat alustapahkan (askostrooman) lokeroissa, ei varsinaista
itiölavaa

Askoma = kotelosienten itiöemä

Askospori = koteloitiö

Askostrooma = askolokulaaristen sienten tiivis alustapahka, jonka lokeroihin askukset syntyvät yksittäin tai ryhminä

Askus = itiökotelo

Autoekinen ruostesieni = ruostesieni ei vaihda isäntäkasvia

Basidio = itiökanta

Basidioma = kantasienten itiöemä

Basidiospori = kantaitiö

Bitunikaatti = kaksiseinämäinen itiökotelo

Dikaryofaasi = kaksitumavaihe

Dikaryoottinen = kaksitumainen

Diskomykeetti = kotelosieni, jonka itiöemä on apoteekio

Ekio = helmi-itiömalja, jossa ruostesienten helmi-itiöt muodostuvat

Ekidio = helmi-itiömalja, jossa ruostesienten helmi-itiöt muodostuvat

Ekidiospori = helmi-itiö, ruostesienten haploidinen, suvuton itiö

Ekiospori = helmi-itiö, ruostesienten haploidinen, suvuton itiö

Eksogeeninen = ulkosyntyinen

Endogeeninen = sisäsyntyinen

Fakultatiivinen parasiitti = valinnainen loinen eli sellainen saprofyytti, joka tietyissä olosuhteissa voi esiintyä loisena

Fialidi = kuromia muodostava pullonmuotoinen solu, jonka kärkeen syntyvään aukkoon muodostuvat kuromat

Gameetti = sukusolu

Gametangio = elin, jossa sukusolut syntyvät

Gametangiogamia = gametangioiden ja niiden protoplasmojen yhtyminen

Gametogamia = gameettien yhtyminen

Gymnokarpainen = itiöemä, jossa hymeenio on esillä alusta alkaen

Hakamuodostus = kotelosienten askogeenisen rihman kärjen "käyristyminen", joka edeltää karyogamiaa ja askuksen syntyä

Haustorio = imurihma

Hemiangiokarpainen = kantasienien itiöemän kehitystyyppi, jossa itiölava syntyy itiöemän suojassa ja paljastuu vasta itiöiden kypsyessä

Heteroekinen ruostesieni = isäntäkasvia vaihtava ruostesieni

Heterokonttinen = siimallinen solu, jonka siimat ovat eri pituiset

Heterotallinen = erilaissekovartinen; sieni, jolla on kahdenlaisia, eri pariutumistyyppisiä edustavia sienirihmoja ja suvullinen lisääntyminen voi tapahtua vain näiden tyyppien välillä

Holomorfi = koko sieni kehitysasteineen (anamorfi + teleomorfi)

Hyalini = väritön, usein lasimaisesti läpikuultava

Hymeenio = itiölava, itiöemän osa, jossa itiökotelot tai itiökannat syntyvät

Hymenofori = hymeenion ja sitä tukevan rihmaston muodostama itiöemän osa (esim. lakkisienten heltasto, kääpien pillistö)

Hyperplasia = solujen lukumäärän lisääntymisestä johtuva liikakasvu

Hypertrofia = solujen suurenemisesta johtuva liikakasvu

Hysteroteekio = kotelopalko, pitkittäisvaolla avautuva kotelosienien itiöemä

Hyyfi = sienirihma

Inoperkulaatti = huokosella avautuva askustyyppi

Interkalaarinen = sienirihman keskellä (ei päätteinen)

Kapillitio = hiusvanuke, kupusienten itiöemässä tai limasienten sporangiossa itiöiden seassa tavattavat säikeet

Karyogamia = solutumien yhteensulautuminen

Kenosyyttinen = monitumainen

Klamydospori = kätköitiö, kestoitiö

Kleistoteekio = kotelosienten kotelorakko

Kolumella = keskipatsas, itiöemän tai itiöpesäkkeen sisällä oleva steriili muodostuma

Konidio = kuroma, kuroutumalla muodostunut suvuton itiö

Konidioma = kuromaitiöitä tuottava itiöemä

Konidiofori = kuromankannatin

Kotelopullo = kotelosienen pullomainen itiöemä, jossa on suuaukko

Kotelorakko = kotelosienten pallomainen itiöemä, jossa ei ole suuaukkoa

Kuromapullo = pyknidio, suvuttomasti syntynyt itiöemä, jonka sisällä suvuttomat kuromaitiöt

Kystidi = basidiota suurempi tai muuten niistä poikkeava solutyyppe

Makrosyklinen ruoste = elämänkierto täydellinen, viisi itiövaihetta

Merosporangio = sylinterimäinen, muutaman itiön sisältävä itiöpesäke

Mikrosyklinen ruoste = elämänkierto ei ole täydellinen; talvi-itiövaihe ainoa kaksituma-aste elämänkierrossa

Mykorritsa = sienijuuri; sienirihman ja juuren välinen symbioosi

Mykotoksiini = varsinkin homesienten muodostama myrkky

Myseeli = sienirihmasto

Myksameba = limasienen amebamainen liikkuva, siimaton parveiluitiö

Oidio = suvuton, ohutseinäinen, yksisolainen, kasvullisesta rihmastosta heikosti erilaistunut itiö

Oogamia = munasiitos, suuren liikkumattoman naarassukusolun hedelmöittyminen liikkuvalla koirassukusolulla

Oogonio = munapesäke

Oospori = munaitiö, munasienten hedelmöittyneestä munasolusta syntynyt itiö

Operkulaatti = kannella avautuva askustyyppe

Parafyysi = hymeeniossa tavattava steriili rihma (lisärihma, nesterihma)

Perifyysi = lyhyet, karvamaiset rihmat kotelopullon suuaukon sisäpuolella

Periteekio = kotelopullo

Pileaattinen = hyllymäinen käävän itiöemä

Planogameetti = itsenäisesti liikkuva sukusolu

Plasmodi = limasienen limakko

Plasmogamia = kahden solun sytoplasman yhtyminen ilman tumien yhtymistä

Pleomorfinen = sieni, jolla on elämänkierrossa kaksi (tai useampia) selvästi erilaistunutta kehitysastetta

Probasidio = alkeisrihma

Progametangio = gametangion esiaste

Promyseeli = epibasidio, alkeisrihma; lyhyt iturihma, joka kasvaa ruostesienten tai nokisienten itiöistä ja josta edelleen varsinaiset kantaitiöt syntyvät (vastaa itiökantaa)

Protoplasma = alkulima

Prototunikaatti = alkeellinen itiökotelo, jonka itiöt vapautuvat seinämän murtuessa

Pseudoparafyysi = valelisärihma; molemmista päistä kiinni oleva steriili rihma valemotelopullossa (pseudoteekiossa)

Pseudoteekio = valemotelopullo; kotelopullon näköinen itiöemä, jossa askukset syntyvät alustapahkan (askostrooman) sisään

Pyknio = ruostesienten pullomainen itiöemä (=spermagonio)

Pyknidio = kuromapullo

Pyknidiospori = kuromaitiö

Pykniospori = ruostesienten pikkukuromaitiö, spermaatio; pykniossa syntynyt kuroma

Pyrenomykeetti = kotelosieni, jonka itiöemä on kotelopullo

Reseptiivinen hyyfi = siitosrihma, jonka kautta spermaatio vaeltaa

Resupinaattinen = käävän itiöemä, jossa itiömalto syntyy suoraan kasvulliselle pinnalle

Ritsoidi = juurtumahapsi

Silmikoiminen = suvuton lisääntyminen, jossa uusi yksilö syntyy pullistumalla emosolusta

Sinkilä = kantasienen rihmaston solun "käyritymä", jonka kautta toinen solun tumista siirtyy jäljempänä olevaa soluun

Sklerootio = rihmastopahka; tiivis ja kova sienirihmojen muodostama pahka, jossa usein on erilaistunut paksu kuori; talvehtimiselin, josta voi syntyä itiöemä, rihmasto- tai alustapahka; limasienillä plasmoidin kova lepovaihe

Somatogamia = kasvullisten (somaattisten) solujen yhtyminen

Spermaatio = siimaton (koiras) gameettia vastaava sukusolu

Spermagonio = spermaatioiden syntypaikka; kuromapullonkaltainen elin, jossa kehittyy sukusoluja, spermaatioita

Sporangio = itiöpesäke

Sporangiofori = itiöpesäkkeenkannatin

Sporangiospori = pesäkeitiö

Spori = itiö

Sporidio = ruostesienten kantaitiöistä käytetty nimitys sekä nokisienten muu itiö kuin noki-itiö

Sporangioli = pieni sporangio, jossa vain muutama itiö

Sporodokkio = kuromapahka, kuromankannattimien tiivis yhteen pakkautuma

Sterigma = itiöperä, kuromaperä, solun uloke (esim. basidiossa), jonka päässä on itiö

Stoloni = rönsy

Strooma = alustapahka, tiivis sienirihmasto, jossa voi olla mukana isäntäkasvin solukkoa ja jonka pinnalla tai sisällä usein on itiöemiä (ks. myös askostrooma)

Synnemata = kuromankannatin pylväs

Systeeminen fungisidi = kauan vaikuttava, solukkoihin leviävä sieniä tuhoava kasvinsuojeluaine

Tallus = sekovarsi

Telio = paikka, jossa talvi-itiöt syntyvät

Teleomorfi = pleomorfisen sienien suvullinen aste

Teleutospori = ruostesienten kovaseinäinen talvi-itiö, nokisienten noki-itiö, josta kehittyy basidio

Teliospori = ruostesienten kovaseinäinen talvi-itiö, nokisienten noki-itiö, josta kehittyy basidio

Trikogyyni = siitosrihma, askogonion lisäke, jonka kautta gameetit anteridiosta tai spermagoniosta vaeltavat askogonioon

Tsygogamia = yhtymäsienten suvullinen lisääntymistapa (gametangiogamia)

Tsygospori = yhtymäitiö, yhtymäsienten paksuseinäinen lepoitiö

Unitunikaatti = yksiseinäimäinen itiökotelo

Uredio = kesäitiöryhmä

Uredinio = kesäitiöryhmä; paikka, jossa kesäitiöt syntyvät

Uredinospori = ruostesienten kesäitiö

Urediospori = kesäitiö, ruostesienillä tavattava suvuton itiö

Vesikkeli = zoosporangion muodostama ilmakuplamainen muodostuma, jossa zoosporit erilaistuvat tai vapautuvat

Zoosporangio = parveiluitiöpesäke

Zoospori = parveiluitiö (parveilija)

9. Kurssia tukevaa oppimateriaalia painettuna ja internetissä

9.2. Kirjallisuutta

- Agrios, G.N. 2006. Plant Pathology. 5. painos. Academic Press, San Diego. 635 s.
- Alexopoulos, C.J., Mims, C.W. & Blackwell, M. 1996. Introductory Mycology. 4. painos. John Wiley & Sons, New York. 869 s.
- Braun, U. 1987. A monograph of the Erysiphales (powdery mildews). Nova Hedvigia 89: 1-700.
- Bremer, K. 1991. Hedelmä- ja marjakasvien taudit. 2. uudistettu painos. Kasvinsuojeluseuran julkaisuja 84. 81 s.
- Buczacki, S.T. (toim.) 1993. Zoosporic plant pathogens. Academic Press, London. 352 s.
- Chase, A.R. 1987. Compendium of ornamental foliage plant diseases. APS, Minnesota. 92 s.
- Daughtrey, M.L., Wick, R.L. & Peterson, J.L. 1995. Compendium of flowering potted plant diseases. APS, Minnesota. 90 s.
- Domsch, K.H., Gams, W. & Anderson, T.-H. 1980. Compendium of soil fungi. Vol. 1, 2. Academic Press, London. 859 s. + 405 s.
- Ellis, M.A., Converse, R.H., Williams, R.N. & Williams, B. (toim.) 1991. Compendium of raspberry and blackberry diseases and insects. APS, Minnesota. 100 s.
- Fletcher, J.T. 1984. Diseases of greenhouse plants. Longman, London. 351 s.
- Forsberg, J.L. 1975. Diseases of ornamental plants. University of Illinois Press, Illinois. 220 s.
- Glawe, D.A. 2008. The powdery mildews: A review of the world's most familiar (yet poorly known) plant pathogens. Annual Review of Phytopathology 46:27 – 51.
- Hagedorn, D.J. (toim.) 1985. Compendium of pea diseases. APS, Minnesota. 57 s.
- Hall, R. (toim.) 1991. Compendium of bean diseases. APS, Minnesota. 73 s.
- Hibbett, D.S., Binder, M., Bischoff, J.F., Blackwell, M., Cannon, P.F., Eriksson, O.E., Huhndorf, S., James, T., Kirk, P.M., Lücking, R., Lumbsch, H.T., Lutzoni, F., Matheny, P.B., McLaughlin, D.J., Powell, M.J., Redhead, S., Schoch, G.L., Spatafora, J.W., Stalpers, J.A., Vilgalys, R., Aime, M.C., Aptroot, A., Bauer, R., Begerow, D., Benny, G.L., Castlebury, L.A., Crous, P.W., Dai, Y.-C., Gams, W., Geiser, D.M., Griffith, G.W., Gueidan, C., Hawksworth, D.L., Hestmarks, G., Hosaka, K., Humber, R.A., Hyde, K.D., Ironside, J.E., Kõljalg, U., Kurtzman, C.P., Larsson, K.-H., Lichtwardt, R., Longcore, J., Miadlikowska, J., Miller, A., Moncalvo, J.-M., Mozley-Standredge, S., Oberwinkler, F., Parmasto, E., Reeb, V., Rogers, J.D., Roux, C., Ryvarden, L., Sampaio, J.P., Schüssler, A., Sugiyama, J., Thorn, R.G., Tibell, L., Untereiner, W.A., Walker, C., Wang, Z., Weir, A., Weiss, M., White, M.M., Winka, K., Yao, Y.-J. & Zhang, N. 2007. A higher-level phylogenetic classification of the *Fungi*. Mycological Research 111:509 – 547.
- Horst, R.K. (toim.) 1983. Compendium of rose diseases. APS, Minnesota. 50 s.
- Jones, A.L. & Aldwinckle, H.S. (toim.) 1990. Compendium of apple and pear diseases. APS, Minnesota. 100 s.
- Jones, J.B., Jones, J.P., Stall, R.E. & Zitter, T.A. (toim.) 1991. Compendium of tomato diseases. APS, Minnesota. 73 s.
- Kirk, P.M., Cannon, P.F., Dacid, J.C & Stalpers, J.A. 2001. Ainsworth & Bisby's dictionary of the fungi. 9. painos. CAB International, Wallingford. 655 s.
- Maas, J.L. (toim.) 1998. Compendium on strawberry diseases. 2. Painos. APS, Minnesota. 98 s.
- Mathre, D.E. (toim.) 1992. Compendium of barley diseases. 4. painos. APS, Minnesota. 78 s.

- McNeill, J.F., Barrie, F., Burdet, H.M., Demoulin, V., Hawksworth, D.L., Marhold, K., Nicolson D.H., Prado, J., Silva, P.C., Skog, J.E., Wiersema, J. & Turland N.J. (eds.) 2006. International Code of Botanical Nomenclature (Vienna Code). *Renum Vegetabile* vol. 146. A.R.G. Ganter Verlag, Ruggell.
- Mäki-Valkama, T. (toim.) 2005. Ajankohtaisia kasvinsuojeluohjeita. Kasvinsuojeluseuran julkaisuja n:o 100. Karisto oy:n kirjapaino, Hämeenlinna. 328 s.
- Pawlowski, J & Burki, F. 2009. Untangling the phylogeny of Amoeboid Protists. *Journal of Eucaryotical Microbiology* 56:16 – 25.
- Pimentel D., Zuniga R. & Morrison D. 2005. Update on the environmental and economic costs associated with alien.invasive species in the United States. *Ecological Economics* 52: 273 – 288.
- Rauhala, A. 1958. Kasvien sienitauteja. WSOY, Porvoo. 354 s.
- Schwartz, H.F. & Mohan, S.K. (toim.) 1995. Compendium of onion and garlic diseases. APS, Minnesota. 54 s.
- Scott, K.J. & Chakravorty, A.K. (toim.) 1982. The rust fungi. Academic Press, London. 288 s.
- Smiley, R.W. (toim.) 1987. Compendium of turfgrass diseases. 4. painos. APS, Minnesota. 102 s.
- Smith, I.M., Dunez, J., Lelliott, R.A., Phillips, D.H. & Archer, S.A. (toim.) 1988. European Handbook of Plant Diseases. Blackwell, Oxford. 583 s.
- Smith, S.E. & Read, D.J. (toim.) 1997. Mycorrhizal Symbiosis. 2. painos. Academic Press, San Diego. 605 s.
- Spencer, D.M. (ed.) 1978. The powdery mildews. Academic Press. London, New York, San Francisco. 565 p.
- Stevenson, W.R., Loria, R., France, G.D. & Weingartner, D.P. (toim.) 2001. Compendium of potato diseases. 2. painos. APS, Minnesota. 144 s.
- Valkonen, J., Bremer, K. & Tapio, E. 1996. Kasvi sairastaa-oppi kasvitaudeista. Yliopistopaino, Helsinki. 179 s.
- Whitney, E.D. & Duffus, J.E. (toim.) 1986. Compendium of beet diseases and insects. APS, Minnesota. 76 s.
- Wiese, M.V. (toim.) 1987. Compendium of wheat diseases. 2. painos. APS, Minnesota. 112 s.
- Zitter, T.A., Hopkins, D.L. & Thomas, C.E. (toim.) 1996. Compendium of cucurbit diseases. APS, Minnesota. 87 s.

9.2. Linkkejä

Tree of life, eliökunnan sukupuu ja fyleneettinen luokittelu: <http://tolweb.org/tree/>

Lisää tietoa sienistä: <http://www.mycology.net> ,
<http://www.mycology.adelaide.edu.au/>

Fifth Kingdom, Sienitieteen käsikirja: <http://www.mycolog.com/fifthtoc.html>

Index Fungorum, Sienten voimassaolevat nimet:
<http://www.indexfungorum.org/Names/Names.asp>

Möhösienten kotisivut: <http://oak.cats.ohiou.edu/~braselto/plasmos/>