

## Loeng 2

### Mikroobiökoloogia

*Mikroobiökoloogia käsitleb seoseid ja vastasmõjusid mikroorganismide ja keskkonna abiootiliste ning bioloogiliste tegurite vahel, samuti mikroorganismide endi vahel.*

Mikroobiökoloogia tegeleb: protsessid ökosüsteemi tasandil, autökoloogia, uurimismeetodid, keskkonnategurite mõju, protsesside modelleerimine, rakendused tööstuses ja keskkonnaprobleemide lahendamisel.

Mikroobiökoloogias otsitakse vastuseid järgmistele küsimustele:

Millised mikroorganismid elavad erinevates keskkondades? Kuidas on need mikroorganismid omavahel seotud? Mis juhtub populatsiooniga, kui keskkonnatingimused muutuvad? Millised on muutused, kui keskkonda lisandub uus organism?

**Mikroobiökoloogia tähtsus:** ümber lükata arvamused 1) et mikroobid on väikesed ja neil ei ole olulist osa keskkonnas 2) et kui mikroobe avastatakse/leitakse keskkonnast, siis on see pigem halb kui hea. Mikroobiökoloogiale toetub keskkonnamikroobioloogia.

**Sүнökoloogia** on mikroobide uurimine looduslikus keskkonnas (sh. erinevate populatsioonide omavaheliste seoste uurimiseks)

**Autökoloogia** on mikroobide uurimine *in vitro* ja hoolikalt kontrollitavates tingimustes (selleks, et teada saada kuidas keskkonnategurid mõjuvad mikroobidele)

### Abiootilised tegurid

Füüsikalised tegurid	Keemilised tegurid	Keskkonna mõjud mikroobidele
temperatuur valgus rõhk tihedus kiirgus	pH hapnik C, N, P, S, Mg, K, Na H <sub>2</sub> O soolsus, aluselisis	<b>sүнnergism</b> (tegurite koostoime on suurem kui üksikutegurite summa) <b>antagonism</b> (üks liik kannatab teise liigi elutegevuse läbi)

Keskkond koosneb füüsikalistest, keemilistest ja bioloogilistest teguritest. Koos need tegurid moodustavad ökosüsteemi. Enamasti on anorgaanilisi toitaineid keskkonnas piisavalt, et toetada arvuka koosluse eksisteerimist, kuid limiteerivaks teguriks on tavaliselt energiaallika (eriti C-allika) kontsentratsioon.

Igat mikroobi iseloomustab **ökoloogiline amplituud** (ökovalents, ökoloogiline tolerants) - keskkonnaparameetri piirkond, milles mingi taksoni isendid saavad elada, kasvada ja paljuneda.

**Autökoloogiline amplituud** hõlmab kogu parameetripiirkonna, milles taksoni isendite elu on võimalik, **sүнökoloogiline amplituud** ainult selle osa, kus taksoni isendid tegelikult elavad, s.t. kust teised organismid neid välja ei tõrju (Masing 1992). Sõltuvalt bakteri liigist võib tema ökoloogiline amplituud olla suurem või väiksem. Näiteks eurühaliinsed mikroobid taluvad suurt soolsuse vahemikku ja elavad tavaliselt jõesuudmetes, kus vee soolsus kõigub suures vahemikus. Stenohaliinsed mikroobid eelistavad väikest soolsuse vahemikku ning elavad kas ainult mage- või merevees. Suure ökoloogilise amplituudiga mikroobid elavad paljudes erinevates elupaikades, väikese ökoloogilise amplituudiga mikroobe leidub vähestes elupaikades.

Kui mikroobi iseloomustab mingi konkreetse keskkonnateguri vajadus, siis väljendatakse seda näiteks temperatuuri puhul järgnevalt: psührofiilid (<0-<20°C); mesofiilid (20-<40°C); termofiilid (40-<80°C); hüpertermofiilid (80-110°C).

**Orgaanilised ühendid:** osa mikroobe vajab kasvuks suurt org. aine kontsentratsiooni, osa väikest kontsentratsiooni. Enamikke looduslikke ökosüsteeme iseloomustab org aine väike kontsentratsioon ja selliseid elupaiku asustavad oligotroofsed bakterid. Substraadi kontsentratsiooni ülemine piir nende bakteritekasvuks on 500-1000 mg/L (0.5-1.0%). Baktereid, kes kasvavad suure org aine kontsentratsiooni juures nimetatakse kopiotroofideks (optimaalne substraadi kontsentratsioon ~50000 mg/L).

**Anorgaanilised ühendid:** hapnik, CO<sub>2</sub>, lämmastik (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), fosfor (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>), väävel.

**Elupaik** on liigi olemasoluks ja arenguks vajalike abiootiliste ja biotiliste tingimuste kogum. Kõik mikroobid, kes leiduvad antud elupaigas, moodustavad koosluse. Tihti käsitletakse eraldi kooslustena baktereid, seeni, vetikaid. Elupaika iseloomustab omaduste ühtsus selle ruumilises ulatuses. Mitmed mikroobide liigid esinevad ainult teatud unikaalsetes elupaikades, teised mikroobid esinevad paljudes elupaikades- kosmopoliidid. Elupaiga näited- muld, seedeelundkond, taime juurte pind, järvesetted.

**Mikrokeskkond (mikroelupaik):** protsessid toimuvad järgmistes vahemikkudes

mm - mullatükk, rakkude kogum, orgaanilise aine tükike, juur/muld piirkond (risoplaan)

µm - üksikrakk, adsorbeerivad pinnad

nm - ioongradiendid, veekiled, substraadi gradiendid

Konkreetset elupaika asustavad **autohtoonsed** ja **allohtoonsed** mikroobid. Autohtooseid mikroobe iseloomustab võime kasvada ja olla metaboolselt aktiivne antud elupaigas. Need mikroobid on kohastunud elupaiga füüsikaste ja keemiliste omadustega. Allohtoonsed mikroobid on antud elupaika sattunud väljaspoolt ning nad on suutelised seal elus püsima mingi ajavahemiku.

**Suktsessioon** on koosluste vahetumine ajas.

**Ühe mikrobikoosluse järkjärguline asendumine teisega, kui muutub elupaik.**

Toimub koosluse eri ruumiosades üksteisele järgnevate liigiasenduste kaudu.

Elupaiga **autogeensed** muutused on mikroobide elutegevuse tulemus (substraadi muundamine, pH muutus metaboliitide või  $H^+$  kogunemisel, üleminek aeroobsete ja anaeroobse te tingimuste vahel)

Elupaiga **allogeensed** muutused on sõltumatud mikroobidest (sesoonsed muutused, kliimaatilised muutused, inimtegevus).

Olulised tegurid suktsessioonis on toitainete kättesaadavus, mis on sünteesitud eelnevate liikide poolt, samuti muutused anorgaaniliste toitainete kogus, toksiliste ühendite olemasolu, ärasöömine algloomade ja selgrootute poolt.

Elupaiga koloniseerimisele ja suktsessioonile järgneb kliimaskooslus, mida iseloomustavad 1) iseenda reprodutseerimine 2) iseendaga sarnasuse säilitamine ajas. Peamine organismide omavaheline seos kliimaskoosluses on konkurents (n. heterotroofsete bakterite ja seente puhul on limiteerivaks teguriks orgaaniline süsinik; kemoautotroofide puhul on limiteerivaks teguriks anorg. ühend või ioon, mis on neile energiaallikaks).

N. **Suktsessioon hiire seedeelundkonnas:** pioneerliigid *Flavobacterium*, *Lactobacillus* ja enterokokid; 8 päeva pärast *Flavobacterium* kaob, 18 päev pärast kaob *Lactobacillus*; **kliimaskoosluses domineerib *Bacteroides*** (range anaeroob).

**Suktsessioon inimese seedeelundkonnas:** pioneerliik *Lactobacillus*; järgnevad fakultatiivsed *anaeroobid* (*E. coli* ja *S. faecalis*); **kliimaskoosluses domineerib *Bacteroides*.**

**Elustrateegia** on olulisimate kohastumuste kogum, mis tagab liigi populatsioonide säilimise läbi põlvkondade.

**r-strateegia** võimaldab mikroobidel väga kiiresti koloniseerida uusi toiduallikaid. Organisme iseloomustab kiire kasv soodsal perioodil kõrge toitainete kontsentratsiooni juures, populatsiooni arvukus on väga kõikuv.

N. *Pseudomonas* spp. (arvukus suureneb C-allika konts. suurenemisel) ja tsüanobakterid (arvukus suureneb järsult fosfori koguse suurenemisel vees).

**K-strateegia** puhul on organismi kasv aeglane ja toitainete kogus on piiratud. Populatsiooni arvukus on stabiilne, kõrge toitainete kontsentratsioon võib inhibeerida kasvu

N. Basidiomütseedid- lagundavad ligniini ja tselluloosi; bakterid - kasv huumusel ja oligotroofsetes veekogudes.

### **Mikroobide vahelised vastasmõjud**

**Neutralism** – kahe mikroobipopulatsiooni vahel puudub vastasmõju. Esineb juhul kui populatsioonid on ruumiliselt teineteisest kaugel. See on tõenäoline populatsioonide väikese arvukuse puhul (näiteks vees oligotroofsetes keskkondades või kui mikroobide mikroelupaigad on eraldatud).

**Kommensalism-** üks partneritest toob teisele kasu, teise mõju esimesele on neutraalne. Vähesed kommensaalsed suhted on hästi uuritud. Arvatakse, et ca 75% vee- ja mullamikroobidest on võimelised keskkonda eritama üht või rohkemat vitamiini või aminohapet. Vees ja mullas leidub palju auksotroofilisi organisme, mis vajavad kasvufaktoreid, seega peab kommensalism olema looduses väga levinud.

Kasu :

muudab substraadi kättesaadavaks

eritab keskkonda kasvufaktoreid

toksiinide ja inhibiitorite eemaldamine keskkonnast

substraadi ettevalmistamine koloniseerimiseks

üks organism pakub toitaineid, kaitset ja varju teisele, kes elab ta sees, aga kelle mõju esimesele on neutraalne

**Ektokommensaalid-** kokku puutuvad organismide välispinnad; **endokommensaalid-** kommensaalid elavad peremeesorganismis.

**Protokooperatsioon** on kahe või enama mikroorganismi vastastikku kasulik koostöö vorm. Mõlemad assotsiatsioonis osalevad mikroobid võivad elada ka iseseisvalt. Seos ei ole obligatoorne ega spetsiifiline. Protokooperatsiooni üks vorme on süntroofia (produkti süntees, mida kumbki assotsiatsioonis osalev mikroob ei ole võimeline sünteesima iseseisvalt n. *Arthrobacter* ja *Streptomyces* toodavad koos ensüüme, mis lagundavad pestitsiidi diazinon).

4 eri vormi

- ❑ üks varustab teist energiaga saades vastu mitmeid toitaineid (fototroof-heterotroof)
- ❑ aeroobne heterotroof produtseerib vetika jaoks  $CO_2$ , saades viimaselt vastu  $O_2$
- ❑ toodetakse vastastikku vajalikke kasvufaktoreid

- üks liik vabastab teist toksiinidest, saades teise intensiivse kasvu tulemusena mingit vajalikku ainet

**Sümbioos (mutualism)** on pikaajaline vastastikku kasulik seos kahe eri liiki organismi vahel partnerid on edukad ekstreemsetes keskkondades

nii fototroofid kui ka heterotroofid

mikroob ja mikroob; mikroob ja taim; mikroob ja loom

**Mikroob-mikroob sümbioos: samblik**

autorooft/heterotroof: seen + vetikas (*Trebouxia*, *Trentopohlia*) või tsüanobakter (*Nostoc*), 1:1 kõrge integratsiooni tase

osa samblikes esinevaid mikroobe ei ole võimelised vabalt elama madal toitainete kontsentratsioon, madal temperatuur, vähe vett tundlikud õhusaaste suhtes

### Antagonism

**Amensalism** : üks mikroobipopulatsioon toodab ainet, mis inhibeerib teise mikroobipopulatsiooni kasvu. N. Naha mikrofloora toodab rasvhappeid, mis takistavad patogeeni kasvu, pärmid toodavad etanooli, mis takistab enamike mikroobide kasvu.

Enim uuritud on antibiootikumide tootmine ja mõju mikroobidele, seda just mullas.

Röövtoidualised mikroobid: algloomad, *Bdellovibrio*, *Vampirococcus*

### Vastasmõjud mikroobipopulatsioonis

#### 1. Positiivsed vastasmõjud

**Kooperatsioon:** kui inokulumi arvukus on väike, siis põhjustab see pikemat lag perioodi või bakterid ei kasva üldse. Üldjuhul koloniseerivad bakterid elupaiga edukamalt teatud optimaalse arvukuse juures kui seda teeb üksik rakk. Üks põhjustest seisneb selles, et bakterid "kaotavad" ümbritsevasse keskkonda metaboolseid vaheühendeid. Kui populatsiooni arvukus on suur, siis ekstratsellulaarne metaboliitide kontsentratsioon tasakaalustab selle kao (toimub reabsorptsioon). Eriti oluline on kooperatsioon juhul, kui populatsioon kasutab vees lahutumatut substraati. Ekstratsellulaarsete ensüümide tootmine rakkude poolt muudab selle substraadi kättesaadavaks kõigile populatsiooni liikmetele.

#### 2. Negatiivsed vastasmõjud

Konkurents: kuna mikroobipopulatsiooni kõik liikmed kasutavad üht ja sama substraati, siis madala substraadi kontsentratsiooni ja populatsiooni suure arvukuse juures tekib konkurents toitainete pärast. Negatiivset vastasmõju põhjustab ka toksiliste metaboliitide kogunemine keskkonda.

**Quorum sensing e. hulgatunnetus-** populatsiooni tihedusest sõltuv geeniregulatsioon, mis on vahendatud spetsiifiliste molekulide poolt. Need molekulid on sünteesitud ja väljutatud keskkonda eesmärgiga kutsuda esile rakukogumi reaktsioon (vastus) keskkonnategurile. Hulgatunnetus on oluline mitmetes protsessides nagu biokile moodustumine, bioluminestsents, biogeokeemiline ringlus, geneetilise info vahetus ja haiguste teke taimedel ning loomadel.

Üks enim uuritud signaalimolekule on N-atsüül homoseriin laktoon.

### Algloomade endosümbiondid

Mõned *Paramecium aurelia* rakud sisaldavad bakterit *Caedibacter*, mis muudab algloomaks toksiini tootjaks. *Caedibacter* omakorda sisaldab faage, mis on seotud toksiini tootmisega

Mõned *Paramecium bursaria* rakud sisaldavad vetika rakke (*Chlorella spp.*, *Scenedesmus spp.*). Vetika rakkude arv >1000 ühes algloomas. Tänu vetika poolt toodetavale hapnikule saab kingloom elada anaeroobses keskkonnas, vetikas saab kingloomalt kaitstud elupaiga ja CO<sub>2</sub>.

Bakterite interaktsioon viirustega

Bakterite arvukus keskkonnas on mõjutatud oluliselt viiruste poolt. Viiruste poolt põhjustatud lüüsi tagajärjel väheneb bakterite arvukus 1 liitris järvevees 30\*10<sup>6</sup>-48\*10<sup>6</sup> ühe päeva jooksul (algloomad söövad ära sama aja jooksul 4-6 korda rohkem baktereid). Viiruste mõju mulla bakteritele on vähe uuritud.