

Bakterier i jord og kompost – flerfunksjonelle samfunn

NORSØK FAGINFO Nr. 2 2020

Norsk senter for økologisk landbruk

Reidun Pommeresche, Sissel Hansen, NORSØK og Katelyn Solbakk, Mikroliv.

Kontakt: reidun.pommeresche@norsok.no

Mikroorganismer er viktige når husdyrgjødsel eller matrester komposteres, når gras ensileres, melk blir til yoghurt og generelt når organisk materiale omdannes i jord. Det finnes tusenvis av ulike grupper og arter mikroorganismer, og stor variasjon i hva de kan bruke som energi- og næringskilder. Tilgang på næring og miljøforhold betyr mye for hvilke bakterier som utvikler seg. Bakterier i jord og kompost deles i fire hovedgrupper basert på hvordan de produserer eget organisk materiale og får tak i energi til dette.



Bildet viser en rot med jord og mikroorganismer som ligger på en testpinne med næring. Et mindretall av jordlevende mikroorganismer kan dyrkes frem ved slike metoder. Både kultivering og mikroskopering erstattes i dag av ulike molekylære teknikker for å si noe om mikrolivet i jord. Foto Reidun Pommeresche, NORSØK.

Innledning

Alle organismer må skaffe seg *byggematerialer* slik som proteiner, fett og karbohydrater for å lage nye celler. I tillegg må de skaffe *energi* til å bygge celler og holde livsprosesser i gang for å overleve. Dette kalles samlet for stoffskifte. Organismene deles i to hovedtyper etter hvordan de får tak i karbon og energi til stoffskiftet. *Autotrofe organismer* (planter og enkelte bakterier) som lager nytt organisk materiale via fotosyntesen eller ved kjemiske reaksjoner og *heterotrofe organismer* (dyr, insekter og mange mikroorganismer) som lever av organisk materiale.

En kornplante er en typisk autotrof organisme. Via fotosyntesen og solenergi forbindes karbondioksid og vann til organiske molekyler i planten. En meitemark er en typisk heterotrof organisme. Den får både karbon og energi til sitt stoffskifte ved å fordøye karbonholdige forbindelser som andre organismer har bygd opp. Vi mennesker får også energi og karbon fra planter, kjøtt og fisk som vi spiser, og er derfor også heterotrofe organismer.

Mange mikroorganismer kan veksle mellom ulike stoffskiftemetoder alt etter karbontilgang og miljøforhold. Det kommer vi tilbake til.

Mikroorganismer er én eller få celler

Mikroorganismer, også kalt mikrober, er ørsmå (0,2-50 mikrometer), selvstendige livsformer som man trenger gode mikroskop for å kunne se. De er én- og fåcellede organismer som bakterier, encella protister og flere mikroskopiske sopp- og algearter. Hva som defineres som mikroorganisme er ikke helt entydig. Vanligvis regnes ikke flercellede organismer til her, selv om noen av dem krever stor forstørrelse under mikroskop (f.eks. hjuldyr, midd, bjørnedyr). Vi har fokus på éncella og fåcella bakterier i denne artikkelen.



Mikroorganismer fra jord fra en grønn byggplanterot, som har vokst frem etter tre døgn på næringsmedium. Det som ses er jordaggregater (brune) og ulike bakteriekolonier, de runde hvitaktige dråpene. De flatere hvitaktige plettene, er hyfeaktige bakterier (aktinobakterier) og/eller sopp. Ca 3x forstørrelse. Foto Reidun Pommeresche, NORSØK.

Næringsstoffer og energi

I definisjonen av *organiske materiale* er grunnstoffene karbon og hydrogen essensielle, samt at det er levende organismer som lager stoffene. Eksempler på organiske molekyler er metan, karbohydrater, hormoner, fett, syrer, alkoholer, proteiner, enzymer, cellulose og lignin. For å lage organiske molekyler til cellevegger og ulike «småorganer» (organeller) trenger mikroorganismer organiske og uorganiske næringsstoffer, samt energi til produksjon og vedlikehold.

Hos bakterier (prokaryoter) skjer både fotosyntese og energiproduksjon i cellemembraner (deler av celleveggen). Mens dette hos eukaryote organismer skjer i småorganer (celleorganeller) som kloroplaster og mitokondrier. Bakteriene som lever nær hverandre påvirkes av stoffene som dannes.

Mikroorganismer kan få energi og karbon fra samme kilde, eller energi fra én kilde og karbon fra en annen. En del mikroorganismer får også energi fra ulike kjemiske redoksprosesser i jord og kompost. Dermed kan noen bakterier leve både med og uten oksygen, samt både med og uten organiske molekyler i miljøet.

I ulike biokjemiske prosesser dannes både gasser, syrer, karbohydrater og viktige enzymer og aminosyrer. Disse stoffene kan være luktfrie, veldig illeluktende, eller lukte godt. Noen av prosessene krever energi. Andre frigir energi og varme og gir varmgang i en haug med plengras, komposthauger, talle og annet organisk materiale.

Definisjoner:

stoffskifte – summen av livsnødvendige prosesser som skjer i levende celler

autos – selv

heteros - annen

trophe – næring

aerob – trenger oksygen for å overleve

anaerob – lever og vokser uten oksygen

fakultativ – valgfri, selvbestemt, fleksibel

syntrophy – felles næring, ofte utenfor bakteriecellen

prokaryote organismer (bakterier) – har ringformet kromosom med nakent DNA, energiproduksjon i cellemembraner

eukaryote organismer – har energiproduksjon i kloroplast og mitokondrier, har cellekjerne

Gram ÷ bakterier: har en tynn cellevegg av peptidoglykan med en membran utenpå, pga denne membranen tåler de bedre f.eks. antibiotika m.m.

Gram + bakterier: gram positive bakterier har bare en tykk vegg av peptidoglykan uten membran.

enzymer – en gruppe proteiner som inngår i kjemiske prosesser i og utenfor celler, eks. hydrogenase, cellulase, kitinase osv.

redoksreaksjoner – kjemiske reaksjoner hvor det dannes energi ved at stoffer overfører elektroner mellom seg.

elektron donor – stoff som avgir elektroner i en redoks reaksjon, blir oksidert og mindre energirikt

elektronakseptor – stoff som mottar elektroner i en redoks reaksjon, blir redusert og mer energirikt.

Fire ulike kombinasjoner

Mikroorganismene hører til en av fire ulike næringstyper, gruppert etter hvilken energikilde og karbonkilde de bruker. Det gjør bakterier til en kompleks, men spennende og veldig allsidig gruppe organismer. Sammen danner de multifunksjonelle samfunn i jord og kompost.

Tabell 1. Inndeling av mikroorganismer i ulike næringstyper etter hvordan de skaffer seg energi og karbon for å vokse og leve.

Næringstype	energikilde	karbonkilde	Aktuelle organismegrupper i jord og organisk materiale.
Fotoautotrofe	Lys	CO ₂	Alger (<i>Chlamydomonas</i>), blågrønne bakterier (<i>Nostoc</i> , <i>Chlorella</i>).
Kjemoautotrofe	Uorganiske stoffer: Nitrogenholdige forbindelser som amider (NH ₂), ammonium (NH ₄ ⁺) og nitritt (NO ₂ ⁻), Svovelholdige stoffer som sulfhydril (HS), hydrogen-sulfid (H ₂ S), Hydrogen (H ₂),	CO ₂ og karbonater	Eks. <i>Nitrosomonas</i> sp. (NH ₄ ⁺ til NO ₂ ⁻), <i>Nitrobacter</i> (NO ₂ ⁻ til NO ₃ ⁻), <i>Thiobacillus denitrificans</i> (S til SO ₄ ²⁻), <i>Thiobacillus ferrooxidans</i> (Fe ²⁺ til Fe ³⁺), Metanproduserende (metanogene) bakterier
Fotoheterotrofe	Lys	Organiske materiale	Eks. noen lilla svovelbakterier: <i>Chromatiaceae</i> og <i>Ectothiorhodospiraceae</i> .
Kjemoheterotrofe	Organiske forbindelser av ulike typer	Organiske materiale	Sopp, aktinobakterier og de fleste bakterier (eks. <i>Bacillus</i> spp., <i>Clostridium</i> spp., <i>Aspergillus</i> sp., <i>Azotobacter</i> sp. og <i>Pseudomonas</i> sp.) Metanspisende (metanotrofe) bakterier Nitrogenfikserende <i>Rhizobium</i> -bakterier Noen bakterier i svovelkretsløpet.

Blant bakterier finnes det både fotoautotrofe, kjemoautotrofe, fotoheterotrofe og kjemoheterotrofe organismer (tabellen over). Disse inndelingene gir et lite innblikk i mangfoldet av naturlige bakterier. Kanskje det kan bidra til bedre å kunne styre og legge til rette for de riktige prosessene ved kompostering og omdanning av organisk materiale og næringsforsyning i jord.

Kjemoautotrofe bakterier

Bakterier kalles *kjemoautotrofe* når de skaffer seg energi fra *kjemiske reaksjoner* og lager nytt karbohydrat (*organisk materiale*) av CO₂ og en uorganisk hydrogenkilde. Dette ligner fotosyntese, men kjemisk energi blir brukt i stedet for lysenergi. Kjemisk energi får organismene ved å oksidere uorganiske stoffer som hydrogensulfid (H₂S), hydrogen (H₂) eller toverdige jern (Fe²⁺). For å få prosessen til å fungere trengs en elektronakseptor. *Aerobe* organismer må ha oksygen som elektronakseptor. Mens *anaerobe* organismer kan bruke elektronakseptorer som sulfat (sulfatreduserende bakterier), nitrat (denitrifiserende bakterier), Fe³⁺ (jernbakterier) eller CO₂ (metanproduserende bakt.).

Karbohydrater og karbonholdige organiske stoffer dannes av CO₂ og hydrogen fra ulike kilder, i tillegg til essensielle næringsstoffer som de får fra jord.

Kjemoheterotrofe bakterier

De fleste organismer som lever av organisk materiale, får *både* energi og byggemateriale fra nedbryting av dette. Mange bakterier, eksempelvis ulike aktinobakterier, samt *Bacillus*-arter og *Lactobacillus*-arter omdanner organisk materiale i jord og kompost på denne måten. Nitrogenfikserende symbiotiske *Rhizobium*-bakterier hører også til i denne gruppen.

Et annet eksempel er metanotrofe bakterier som bruker metan (CH₄) som kilde for både energi og karbon til organiske forbindelser: CH₄ + O₂ + NAD(P)H + H⁺ → CH₃OH (metanol) + NAD(P)⁺ + H₂O.

Noen kjemoheterotrofe bakterier bruker imidlertid energi fra *kjemiske reaksjoner*, men trenger likevel organisk materiale for å få byggesteiner til cellevekst. Eksempelvis noen svovelreduserende bakterier og arter av lilla svovelbakterier i jord og kompost.

Næring og miljø

Bakterier lager enzymer og stoffer som de skiller ut og som bidrar til å gjøre næringen de trenger mer tilgjengelig eller for å skaffe seg energi. Eksempler er hydrogenase, cellulase, kitinase, i tillegg til ulike syrer og baser. Disse stoffene er også viktige for å omdanne organisk materiale til plantenæring og mold i jorda.

Mikroorganismene danner samfunn hvor de danner biofilmer eller mikrobiomer. De kan ha felles ernæring kalt *syntrophy* / *Syntrophismus* / *cross-feeding* (Ottow

2011, Pepper 2015). Noen stoffer forblir inne i bakterie-cellene og andre skilles ut og kommer ut til nytte for andre organismer i biofilmen som mikroorganismene lever i. Hvilke organismer som oppformerer seg først og som senere overlapper hverandre i kompost og i jord, bestemmes av fire viktige miljøforhold (Ottow 2011).

- a) Tilgang på og type substrat
(C/N forhold, næring, vann o.l.)
- b) Vekstfaktorer
(Vitaminer, aminosyrer, fettsyrer o.l.)
- c) Endringer i miljøforhold
(pH, pO₂, E_h, pCO₂ o.l.)
- d) Dannelse av ulike gradienter (aerob/anaerob, reduserte/oksiderte former av N, Mn, Fe, S).

Stor lokal variasjon i miljøforholdene

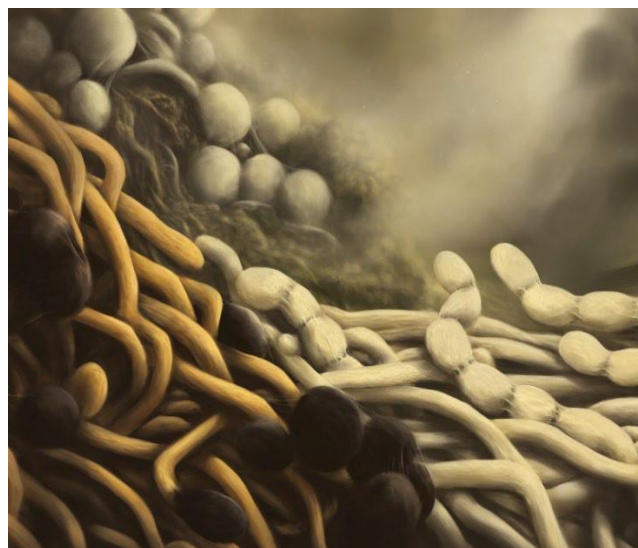
Stoffskiftet (metabolismen) hos bakterier består av *anabolisme* som bygger opp molekyler, og *katabolisme* som bryter molekyler ned til mindre molekyler og ioner. I katabolismen fjernes elektroner og protoner i en oksidasjon, og det blir produsert energi og ulike stoffer. I anabolismen kreves det energi, og den kan komme fra ulike kilder.



Samme storfetalle behandles etter to ulike metoder i et prosjekt ved NORSØK. Massene til høyre luftes og blandes med en kompostvender (grønn). Tallen til venstre legges som en haug med flat topp (trapesform), litt tett pakka ytre lag og skal ikke snues. Mikroorganismene i de to haugene får ulike miljøforhold, men begge steder omdannes organisk materiale til jord. Næringsinnhold, karbondynamikk og gasser skal sjekkes. Foto: Reidun Pommeresche, NORSØK.

I en kompost eller en jordbruksjord av samme utgangsmaterialene, vil det påvirke de mikrobielle prosessene om vi snur massen ofte, eller lar den ligge mer eller mindre i ro. Jordarbeiding og kompostvending påvirker miljøforhold for mikroorganismene; slik som forholdet mellom O₂ og CO₂ i porelufta (partialtrykket av pO₂ og pCO₂), endringer i fuktighet og pH, samt endringer i redokspotensialet (E_h). Noen

biokjemiske prosesser vil være de samme, mens andre vil være forskjellige. I tillegg vil noen mikrobiologiske prosesser kunne variere mye innen et svært lite jordvolum, fordi noen av disse miljøforholdene endrer seg eller varierer. Eksempelvis vil det være ulike mikrobiologiske og kjemiske prosesser på utsiden og inne i den samme lille klump med jord, samt utenpå og inni en klump med kuskitt blandet med halm. Det vil også være ulike prosesser som skjer når det er vannmettet jord enn når jorda er godt drenert.



Tegning av to trådformede aktinobakteriegrupper som kan finnes i jord og kompost. Den gule med svarte sporer er en Micromonospora-art og den hvite med hvite kjeder av sporer en Streptomyces art. Tegning Katelyn Solbakk Mikroliv.

Urbakterier viktige også i dag

Bakterier hører til prokaryote organismer og er i noe litteratur inndelt i Bacteria og Archaea. Archaea, gjerne kalt arke- eller urbakterier, er bakterier som er tilpasset ekstreme livsmiljøer, ved at de kan leve i varme kilder, vulkankratre og saltsjøer. Molekylære teknikker brukt på jord antyder imidlertid at flere bakterier fra denne Archaegruppen er langt mer vanlige i landbruksjord og kompost enn tidligere antatt (Ottow 2011, Weil & Brady 2017). Flere av disse bakteriene er særlig viktige i kretsløpene til karbon, nitrogen og svovel i jorda (Pepper m. fl. 2015, Odelade og Babalola 2019).

Noen typer arkebakterier kan produsere metan, kalt metanogene bakterier, og andre typer kan redusere mengden metan, kalt metanotrofe bakterier. Flere ulike typer arkebakterier er viktige i nitrogen- og svovelkretsløpet. Generelt tåler noen arkebakterier miljøer uten oksygen og noen tåler høye temperaturer eller ekstremt surt miljø med pH < 2.

Samspill

Noen arter nitrogenbindende bakterier lever i samspill med planterøtter, mens andre lever av organisk materiale og fritt i jorda. I jord og kompost danner bakterier næringskjeder hvor stoffer som er elektronakseptor for én type bakterier kan brukes som elektrondonor av en annen gruppe. Slikt utnyttes både energien og næringen som er i systemene.



Mange bakterier i jord samarbeider med planterøtter på ulike måter. Bakterier fra slekten Rhizobium bidrar til nitrogenbinding i belgvekster og aktinobakterier fra slekten Frankia bidra til nitrogenbinding hos ulike trær (gråor og svartor). Her er rotknoller med bakterier på en rødkløverrot. Foto: Reidun Pommeresche, NORSØK.

Noen bakterier bruker lysenergi til å drive elektrontransport og skaffe seg energi. Blågrønne bakterier har oksygenproduserende fotosyntese med vann som elektrondonor.

Andre bakterier lever anaerobt og bruker f.eks. hydrogen sulfid som elektrondonor ($6 \text{ CO}_2 + 12 \text{ H}_2\text{S} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{H}_2\text{O} + 12 \text{ S}$). Det betyr at de kan lage karbohydrater av CO_2 og H_2O , slik som under fotosyntesen, men med kjemisk energi og uten at de trenger lysenergi. Disse er mindre kjente, men har viktige funksjoner i jord og kompost (Pepper m. fl. 2000).

Fleksible mikroorganismer

Mange bakterier kan være *fakultativt anaerobe* ved at de kan skaffe seg energi både med og uten oksygen til stede i nærmiljøet. Noen kan også bruke ulike typer karbonkilder, dvs. være *metabolsk fleksible*, avhengig av omgivelsene. Noen kjemoautotrofe bakterier bruker reduserte, uorganiske stoffer som elektronkilder, med oksygen som elektronakseptor, eller f.eks. sulfat eller karbondioksid når oksygen ikke er til stede. Andre elektrondonorer er hydrogen gass (H_2), ferrojern (Fe^{2+}), hydrogen sulfid (H_2S), svovel (S), nitritt (NO_2^-) eller ammoniakk (NH_3). Lilla ikke-svovelbakterier kan eksempelvis drive anaerob fotosyntese, men kan leve

på organiske stoffer hvis oksygen er tilgjengelig og fungerer da som kjemoheterotrofe.

Både mangfold av bakterier og deres fleksibilitet har betydning for at organisk materiale brytes ned både med og uten oksygen i kompost eller i jord.

Samlet er substratet, miljøforholdene og bakteriesamfunnene med på å gjøre forskjell på hvor fullstendig, og til hvilke produkter (metabolitter) ulike typer organisk materiale omdannes. En fullstendig nedbryting av en kuke eller en død plante kalles mineralisering. Men underveis kan deler av utgangsmaterialene både *fermentere/gjære* og/eller *råtne*. Nedbryting og omdanning kan altså skje på mange ulike måter, og med tusenvis av ulike metabolitter på veien til at alt karbonet i utgangsmaterialet er blitt til CO_2 .



I mange komposter finner vi ulike typer hvitt og gulhvitt belegg når det blir fuktig og varmt i komposten. Det hvite, hyfeaktige belegget er ekte sopper (ulike blekksopper mm). Det mer gulhvite belegget som ikke dannet hatter, er bakterier som med stor forstørrelse kan se ut litt ut som hyfer med pudder rundt (aktinobakterier). Flere bakterier og noen sopparter kan leve både med og uten oksygen og kalles fakultative, fordi de kan skifte sitt eget stoffskifte etter miljøforholdene. Bacillus- og streptomycetesarter er eksempler på jordlevende fakultative bakterier. Foto Reidun Pommeresche, NORSØK.

Usikkerhet om genetisk klassifisering




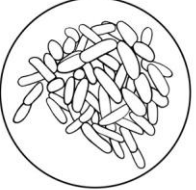
For å klassifisere og identifisere mikroorganismer måtte de tidligere kunne oppformeres i en renkultur. En del bakterietyper kan dyrkes frem, mens mange jordlevende bakterier ikke lar seg oppformere utenfor jord (Fierer m. fl. 2007, Ottow 2011, Spain m. fl. 2009). Ved å sammenligne DNA og ulike unike stoffer for enkelte bakteriegrupper, er det nå mulig å finne slektskap mellom ulike mikroorganismer uten dyrking.

Det er vanskelig å enes om en bakteriesystematikk fordi mye enda ikke er kjent og det stadig blir nye metoder. Bakterier som gjør samme biokjemiske prosess hører heller ikke alltid til i samme gentiske gruppe. Det finnes eksempelvis nitrogenfikserende bakterier i mange systematisk ulike grupper. Det samme gjelder for aerobe og anaerobe bakterier. Noen prøver også klassifisere bakterier basert på hvilke funksjoner de har i jorda (Fierer m. fl. 2007).

Bakterier i jord, gjødsel og kompost

Det er et utall av bakterier som inngår i biokjemiske prosesser i jord, gjødsel og kompost. Vi løfter frem noen, men det fins mange flere (se under Kilder)

I jord er det fire grupper kultiverbare bakterier som dominerer, kalt «de fire store». Dette er fylumene Actinobacteria > Firmicutes > Proteobacteria > Bacteroidetes (Ottow, 2011). Disse er også vanlig i komposteringsprosesser (Partanen m. fl. 2010).

<p>Actinobacteria</p>  <p>O₂ G⁺ N₂ CH₄ O₂ Δ</p>	<p>Firmicutes</p>  <p>O₂ O₂' G⁺ G⁻ Δ</p>
<p>Proteobacteria</p>  <p>O₂ O₂' G⁻ N₂ CH₄ Δ</p>	<p>Bacteroidetes</p>  <p>O₂ O₂' G⁻ Δ</p>

Noen kjennetegn som bakteriearter innenfor de fire ulike bakteriegruppene har. Tegninger Katelyn Solbakk og idé Reidun Pommeresche.

Tegnforklaring:

- O₂ O₂' O₂' = aerobe, anaerobe, fakultative;
- G⁺ G⁻ = gram positiv eller gram negativ celleveggtype;
- Δ ○ ● ◐ = noen danner sporer andre ikke, flesteparten danner sporer, veldig få danner sporer;
- N₂ = noen binder luftnitrogen (N₂) inn i planter og/eller jord
- CH₄ = noen bruker metan som næring;
- Δ ○ ● ◐ = viktige nedbrytere av organisk materiale
- Δ ○ ● ◐ = noen kan styrke plantehelsen, eks. ved at noen produserer antibiotika, soppgifter eller hormoner.

Actinobacteria

Dette er heterotrofe bakterier som lever av organisk materiale i jorda, som halm og planterester. De er derfor viktige nedbrytere i jord og kompost. Gruppen består av ulike jordbakterier som vokser som hyfer/filamenter (Anandan 2016, Ottow 2011). De er vanligvis aerobe. *Streptomyces* arter har en greinet voksemåte, som minner om mikroskopisk soppmycel.

Det finnes over 500 arter, flere av dem kan lage «jordlukt», en organisk forbindelse kalt geosmin. Flere arter kan også produsere antibakterielle stoffer av ulike slag, eksempelvis kan arten *S. griseus* skille ut et antibakterielt stoff kalt streptomycin. Nitrogenfikserende organismer på røtter (*Frankia*-arter) til trær (svartor og gråor) er også aktinobakterier.

Firmicutes

Firmicutes er en heterogen gruppe bakterier som er viktig for omdanning av organisk materiale i jord og kompost. De formerer seg raskt, kalt r-strateger, og lever av mer lettfordøyelig organisk materiale, for så å danne ulike typer hvilesporer (Ottow, 2011). Klassen Bacilli er aerobe og/eller fakultativt anaerobe jordlevende organismer som kan formere seg eksplosjonsartet i organisk materiale. De liker litt varme (25-40°C) og kan danne hvilesporer.

Dersom det er oksygen til stede dannes ulike enzymer som bidrar til nedbryting av sukker, karbohydrater, pektiner osv. Det er også arter som lever av å omdanne gassene CO₂ og H₂ til karbohydrater og vann. Uten O₂ skjer det ved nitratreduksjon, denitrifikasjon og omdanning av mangan og jern. N₂-fiksering og omdanning av nitrogenholdige stoffer er også vanlig her.

De fleste av de 150 artene av *Bacillus* bruker ulike nitrogenkilder og er kjemoheterotrofe, bevegelige bakterier som kan vokse i luft og lever på nedbrytning av organisk stoff bl.a. i jord og kompost. Flere arter av *Bacillus* slekten skiller ut ekstracellulære enzymer (proteolytiske enzymer, amylase, lipaser, nukleaser). *Bacillus subtilis* produserer antibiotikumet bacitracin og *Bacillus polymyxa* lager olymyxin. *Bacillus thuringiensis* produserer et toksin som er giftig for insekter. I klassen *Clostridia* finner vi både viktige nedbrytere og en del patogene arter.

Lactobacillus, *Leuconostoc* og *Pediococcus* er ulike melkesyrebakterier, som er fakultativt anaerobe bakterier uten flageller (haletråd) som omsetter sukker til melkesyre (laktat). De tåler å vokse under sure betingelser. Flere brukes i matindustrien til å lage yoghurt, ost eller ekte surkål. Flere av disse også aktive

i aerob og anaerob omdanning av organisk materiale (Partanen m. fl. 2010) og bokashi-fermentering.

Proteobacteria

Denne gruppen er den mest tallrike i jord og i rotsonene, rhizosfæren (Ottow 2011), men som vi ikke vet nok om enda. De er den gruppen med mest variasjon i utseende og typer, og består av 220 slekter. Flere ulike næringstyper finnes her, bla. slekter som *Azospirillum* (frittlevende N₂-fikserer), metanotrofe bakterier (*Metylophilus*, *Metylobacillus*, *Metylovoror*) og *Pseudomonas*-arter som bruker ulike karbonkilder, sammen med N₂, nitrat eller ammonium som N-kilde.

Rhizobium, som er nitrogenfikserende bakterier, har to ulike faser i sin livssyklus i jord. De kan leve aerobt med kjemoheterotroft stoffskifte, altså fritt i jorda, da er de bevegelige med flagell. De kan også vokse inn i rothårene hos belgvekster og danne små rotknoller hvor selve N₂-bindingen skjer uten tilgang på oksygen.

Thiobacillus er kjemoautotrofe, svovelreduserende bakterier. Eksempler på arter er *T. ferrooxidans*; *T. denitrificans* og *T. thiooxidans*. Metabolismen hos *Thiobacillus* kan produsere svovelsyre og mange lever i svært sure miljøer (pH 1.5-2.5).

Bacteroidetes

Flavobacterium-arter er aerobe, ubevegelige og danner ikke sporer. De er med på å omdanne organisk materiale som polysakkarider, fett, cellulose, kitin og proteiner (Ottow 2011). *Sphingo*-bakterier inneholder arter som kan veksle stoffskifte, mellom aerobt og anaerobt miljø, og noen tåler mye CO₂. De omdanner cellulose, men omdanner også mange av de samme stoffene som *Flavobacterium*-arter.

Mikrobiologien er ikke bare lett å styre

Flere faktorer påvirker kompostering og en god omdanning av planterester og husdyrgjødsel i jordbruksjord. Både næringstilgang og miljøforhold er avgjørende (Kuramae m. fl. 2012, Ottow 2011).

Partanen m. fl. (2010) undersøkte mangfoldet av bakterier i et lite (5m³) og et stort matkompostanlegg (160m³), begge med aerob kompostering i trommelanlegg. De fant et utrolig mangfold av gensekvenser (arter/typer) fra alle de fire omtalte bakteriefyla. De estimerte hele 2 000 ulike «arter» (fylotyper) i komposteringsprosessene.

Økt fokus på mikrobiologi i jord og kompost har gitt et marked for mikrobielle produkter, gjerne kalt

biostimulanter, som kan tilsettes for å optimalisere prosessene. Dette er godt kjent i matproduksjon, som det å lage yoghurt, surmelk og ulike oster. Imidlertid er effekten av å tilsette bestemte bakterier til jord og komposter mer omdiskutert og mindre utprøvd. Vi finner foreløpig for lite vitenskapelig dokumentasjon på effekter av bruken, til å kunne tilrå eller fraråde bruk. Det vil det nok komme mer forskning på både mangfold og funksjon av bakterier i jord fremover.



Livet i rotsonen. Tegning: Katelyn Solbakk, Mikroliv.

I jordbruksjord er bakterier i rotsonen ekstra i søkelyset mht næringsforsyning, jordhelse og plantehelse. Fakultative bakterier, som kan skifte mellom ulike karbonkilder og/eller energikilder, kan ha et konkurransefortrinn (Lecomte m. fl. 2018).

Forskere mener at mikrobefunn rundt røtter, kan tilpasse seg skiftene jordforhold og at de artene som er fleksible kan bli ekstra viktige fremover. Dette fordi miljøforhold endres raskt i rotsonene, eksempelvis tilgang på oksygen eller nitrat, og hvilken form ulike metallioner er på.

Bakterier i rotsonen er viktige for næringsforsyning, plantevekst og plantehelse. Stadig nye sammenhenger blir belyst gjennom forskning. I praksis er det viktig å ha fokus på mikroorganismene i jorda, selv om vi ikke vet alt om dem. En god del vet vi allerede og det kan brukes inn i en god forvaltning av jord og organisk materiale.

Kilder

Anandan, R. m. fl. 2016. An introduction to Actinobacteria. Intech, open science open mind.

Fierer, N. m. fl. 2007. Toward an ecological classification of soil bacteria. Ecology 88 (6) 1354-1364.

Kuramae, E. E. m. fl. 2012. Soil characteristics more strongly influence soil bacterial communities than land-use type. FEMS Microbiol Ecol 79, 12-24.

Lecomte, S.M. 2018. Diversifying anaerobic respiration strategies to compete in the rhizosphere. Frontier in Environmental Science.

Odelade, K.A. og Babalola, O.O. 2019. Bacteria, Fungi and Archaea domains in rhizospheric soil and their effects in enhancing agricultural productivity. Finnes på nett.

Ottow, J.C.G. 2011. Mikrobiologie von Böden. Bok. Springer.

Partanen, P. m. fl. 2010. Bacterial diversity at different stages of the composting process. BMC Microbiology.

Pepper m. fl. 2015. Environmental Microbiology. Bok

Spain, A.M. m. fl. 2009. Abundance, composition, diversity and novelty of soil Proteobacteria. ISME 3, 992-1000.

Weil, R.R. og Brady, N.C., 2017. The nature and properties of soils. Bok.



Mikrobesamfunn på overflaten av en levende planterot og i rotsonen. Kuleformede og mer avlange bakterier. Noen bakterier kan bevege seg. De store cellene som svømmer, med to haletråder, er flagellater. Flagellater er encella «dyr» som spiser bakterier og mikrosopp i rotsonen. De store utvekstene på selve roten, er hårrøtter (ca 15 μm (mikrometer) i dia. og 80-1500 μm lange) som er viktige for plantens opptak av vann, næring og samspill med jordlivet. Tegning: Katelyn Solbakk, Mikroliv.

Bakterier i jord og kompost – flerfunksjonelle samfunn

Nr. 2 | 2020

NORSØK FAGINFO

Forsidefoto: Mikroorganismer på planterot, tegnet av Katelyn Solbakk, Mikroliv.

Ansvarlig redaktør: Turid Strøm

Forfattere: Reidun Pommeresche, Sissel Hansen og Katelyn Solbakk.

ISBN: 978-82-8202-107-4

www.norsok.no