

## VIHMUTATAVA KULTUURROHUMAA NING LOODUSLIKE TAIMEKOOSLUSTE ALL OLEV MULD JA PINNAS VAADATUNA GEOMIKROBIOLOOGILISEST ASPEKTIST

L. Murdam, M. Metsur, N. Vardjas, I. Maalmann

Fakt, et soodsates tingimustes kulub bakterirakkude pooldumiseks üksnes mõni minut, kuulub mikrobioloogia aabitsatõdede hulka. Bakterite kiire paljunemisevõime on põhjuseks, miks kergelt lagundatav allapanuta sõnnik, kuulugu see mistahes looma- või linnuliigile, mineraliseerub mullas mõne nädala kestel (Murdam jt., 1993). Vastupidise iseloomuga teave mikroorganismide erakordsest vastupidavusest ja nende eluvõime kestvusest, inimese elueaga võrreldes – igikestvusest, on levinud üksnes erialateadlaste kitsas ringis. Autoritele teadaolevana pärinevad kõige sügavamalt võetud, anaeroobsete bakteritega hõredalt asustatud pinnaseproovid 300 m sügavusest (Phelps jt., 1989) ja vanimad – 40 miljonit aastat tagasi ladestunud hilispleistotseeni settekiivimitest. Viimased sisaldasid 5000...80 000 eluvõimelist (selektiivsöötmetel paljunema hakkavat) bakterirakku grammis pinnases (Hlebnikova jt., 1988). Kuna uuringud tehti Kaug-Põhjas (Kolõma madalik, Jamali poolsaar), siis on praktiliselt välistatud inimtegevuse mõju mikroobirakkude ruumilisele ümberpaiknemisele Maa pinnakihtidest mitme meetri sügavuses asuvasse lähtekivimisse. Mõned praktilise elu küsimused, nagu ammandatud põlevkivikarjääride rekultiveerimine põllumaaks või looduse hiljutise üleekspluateerimise jääknähud, on ka Eestis osutanud vajadusele tutvuda lähemalt mikroorganismide eluvõime säilumisega inimese arusaamade järgi eluks kõlbmatutes tingimustes.

Pinnase mikrobioloogilisi uuringuid alustati 1987. a. tollase RPI Eesti Maaparandusprojekti geoloogiaosakonna (praegu AS MAVES) algatusel. Uurimistöö ajendiks oli Ülenurmel asuva vihmutatava ja väetatava Vända kultuurrohumaaga piirnevate talude kaevude reostumine lämmastikuga. See osutas, et väetiste lämmastiku migreerimine kultuurrohumaal mullast oli toimunud nii vertikaal- kui ka horisontaalsuunas. Vända peakraavi vesikonnas, vahetult põllul paiknevates kaevudes, oli vee nitraatidesisaldus 1986...1988. aastal 60...180 mg/l. Vee nitraatidesisaldus ei olnud märgatavalt muutunud ka 1993. aastaks, mil väetiste hinna tõus nende kasutamist Eestis piiras. Eesti Maaparandusprojekti uurijad olid täheldanud, et teatud juhtudel, kui reoained infiltreeruvad koos hapnikuga, võib infiltreerunud mullavee (või vihmutusvee) isepuhastumine toimuda ka pinnases. Ette rutates tuleb tõdeda, et antud uuringutes me mingit tõestatust lugeda saavat viidet pinnases toimuva isepuhastumise kohta ei saanud. Taoline isepuhastumine on ehk tõenäosem karstialadel, kus gaasivahetuse tingimused atmosfääri ja sügavamal asetsevate lähtekivimi kihtide vahel on soodsamad. Küll aga saime uut informatsiooni elunähtuste leviku ja avaldumise seaduspärasuste kohta looduse seni väga napilt uuritud osas – pinnases (lähtekivimis). Kogutud informatsioon peaks huvi pakkuma ka *Agraarteaduse* lugejatele, olgu nende tegevusvaldkond kas otseselt või kaudselt seotud sellega, mis jääb rohurindest allapoole.

Uurisime mikroorganismide arvukust, lämmastikuühendite ja raskmetallide sisaldust pinnase profiilis väetatava ja vihmutatava Vända kultuurrohumaal Ülenurmel. Võrdlusmaterjali saamiseks analüüsi looduslike taimekoosluste all olevat pinnast, kus proovide võtmiseks valiti inimtegevusest eeldatavalt mõjustamata või vähe mõjustatud kohad, nagu mets ja looduslik karjamaa. Proovivõtu sügavus oli erinevate puuraukude puhul erinev ja ulatus kuni 7 meetrini. Käesolevas artiklis esitatakse andmed üksnes pinnase geomikrobioloogiliste uuringute kohta.

## Uurimisobjekt ja katsete meetodika

Analüüsiti seitset pinnaseprofiili, mis tähistati numbritega 1...7. Profiilid 1...4 võeti väetatavalt ja vihmutatavalt Vända kultuurrohumaalt, mida 1983. ja 1987. aastal oli väetatud ka tolm põlevkivi tuhaga. Proovid võeti järgmistest sügavustest.

**Profiil 1** (8. 04. 87). 0,2...0,3 m: muld,  $\text{pH}_{\text{KCl}} - 6,20$ ; 0,4...0,5 m: saviliiv,  $\text{pH}_{\text{KCl}} - 5,95$ ; (1,0...2,9 m sügavuses oli pinnas pruun, plastne, 10 % jämpurdu sisaldav saviliivmoreen). 1,0...1,1 m:  $\text{pH}_{\text{KCl}} - 5,98$ ; 1,5...1,6 m:  $\text{pH}_{\text{KCl}} - 5,25$ ; 1,9...2,0 m:  $\text{pH}_{\text{KCl}} - 5,40$ ; 2,3...2,4 m:  $\text{pH}_{\text{KCl}} - 5,84$ ; 2,8...2,9 m:  $\text{pH}_{\text{KCl}} - 6,15$ ; 3,2...3,3 m: aluspõhja liiv,  $\text{pH}_{\text{KCl}} - 6,50$ .

**Profiil 2** (8. 04. 87). 0,1...0,2 m: muld,  $\text{pH}_{\text{KCl}} - 5,42$ ; 0,3...0,4 m: kerge saviliiv,  $\text{pH}_{\text{KCl}} - 5,10$ ; 0,5...0,6 m: saviliiv,  $\text{pH}_{\text{KCl}} - 5,05$ ; sügavamal (1,1...5,3 m) oli pinnas punakaspruun, plastne, 10 % jämpurdu sisaldav saviliivmoreen. 1,1...1,2 m:  $\text{pH}_{\text{KCl}} - 4,84$ ; 1,9...2,0 m:  $\text{pH}_{\text{KCl}} - 8,05$ ; 3,0...3,1 m:  $\text{pH}_{\text{KCl}} - 8,40$ ; 5,2...5,3 m:  $\text{pH}_{\text{KCl}} - 8,55$ .

**Profiil 3** (30. 06. 87, profiili 2 lähedalt). 0,2...0,3 m:  $\text{pH}_{\text{KCl}} - 5,30$ ; 0,9...1,0 m: saviliiv,  $\text{pH}_{\text{KCl}} - 4,49$ ; sügavamal (1,5...5,1 m) oli pinnas punakaspruun, plastne, 10 % jämpurdu sisaldav saviliivmoreen. 1,5...1,6 m:  $\text{pH}_{\text{KCl}} - 8,23$ ; 1,9...2,0 m:  $\text{pH}_{\text{KCl}} - 8,22$ ; 2,7...2,8 m:  $\text{pH}_{\text{KCl}} - 8,36$ ; 3,5...3,6 m:  $\text{pH}_{\text{KCl}} - 8,37$ ; 4,2...4,3 m:  $\text{pH}_{\text{KCl}} - 8,45$ ; 5,0...5,1 m:  $\text{pH}_{\text{KCl}} - 8,48$ .

**Profiil 4** (02. 03. 89). 0,02...0,05 m: muld,  $\text{pH}_{\text{KCl}} - 6,78$ ; 0,05...0,15 m:  $\text{pH}_{\text{KCl}} - 6,70$ ; 0,15...0,30 m: muld,  $\text{pH}_{\text{KCl}} - 6,74$ ; sügavamal (0,8...3,6 m) oli 10 % jämpurdu sisaldav saviliivmoreen. 0,8...0,9 m:  $\text{pH}_{\text{KCl}} - 5,58$ ; 1,3...1,5 m:  $\text{pH}_{\text{KCl}} - 7,65$ ; 2,0...2,2 m:  $\text{pH}_{\text{KCl}} - 7,88$ ; 2,4...2,6 m:  $\text{pH}_{\text{KCl}} - 8,00$ ; 3,5...3,6 m:  $\text{pH}_{\text{KCl}} - 8,30$ ; 4,5...4,6 m: peenliiv (devoni murenenud liivakivi),  $\text{pH}_{\text{KCl}} - 8,30$ .

Profiilid 5...7 võeti looduslike taimekoosluste alt.

**Profiil 5** (30. 06. 87, põllusisene metsatukk, metsatee ääres, ligikaudu 80 m kauguselt Vända kultuurrohumaast). 0,0...0,2 m: muld,  $\text{pH}_{\text{KCl}} - 6,45$ ; 0,5...0,6 m: saviliiv,  $\text{pH}_{\text{KCl}} - 4,62$ ; sügavamal (1,1...2,7 m) saviliivmoreen. 1,1...1,2 m:  $\text{pH}_{\text{KCl}} - 4,55$ ; 1,9...2,0 m:  $\text{pH}_{\text{KCl}} - 8,18$ ; 2,6...2,7 m:  $\text{pH}_{\text{KCl}} - 8,34$ ; 3,3...3,4 m: liiv,  $\text{pH}_{\text{KCl}} - 8,30$ .

**Profiil 6** (02. 03. 89, kõrge kuusesegune männimets, ligikaudu 50 m kauguselt metsaveoteest). 0,02...0,05 m: muld,  $\text{pH}_{\text{KCl}} - 3,93$ ; 0,2...0,4 m: tolmlüüv,  $\text{pH}_{\text{KCl}} - 4,69$ ; 0,4...0,6 m: tolmlüüv,  $\text{pH}_{\text{KCl}} - 4,86$ ; 0,8...0,9 m: tolmlüüv,  $\text{pH}_{\text{KCl}} - 4,59$ ; (pinnas 1,3...2,8 m sügavuses oli saviliivmoreen). 1,3...1,5 m:  $\text{pH}_{\text{KCl}} - 4,42$ ; 2,0...2,2 m:  $\text{pH}_{\text{KCl}} - 4,56$ ; 2,6...2,8 m:  $\text{pH}_{\text{KCl}} - 4,59$ ; 3,5...3,7 m: peenliiv (devoni murenenud liivakivi),  $\text{pH}_{\text{KCl}} - 6,33$ .

**Profiil 7** (08. 08. 88, endise Pühajärve sovhoosi Vidrike maaparandusobjekt Valgamaal, looduslik karjamaa, väikese nõlva alumiselt osalt, ligikaudu 10 m kauguselt lepavõsast). 0,2...0,3 m: muld,  $\text{pH}_{\text{KCl}} - 5,75$ ; 0,5...0,6 m: pruun, niiske kesktihe kruusaliiv,  $\text{pH}_{\text{KCl}} - 7,85$ ; (pinnas 1,0...7,0 m sügavuses oli pruun, plastne, 15 % jämpurdu sisaldav saviliivmoreen). 1,0...1,1 m:  $\text{pH}_{\text{KCl}} - 8,36$ ; 1,5...1,6 m:  $\text{pH}_{\text{KCl}} - 8,36$ ; 1,9...2,0 m:  $\text{pH}_{\text{KCl}} - 8,42$ ; 3,0...3,1 m:  $\text{pH}_{\text{KCl}} - 8,62$ ; 4,0...4,1 m:  $\text{pH}_{\text{KCl}} - 8,68$ ; 5,0...5,1 m:  $\text{pH}_{\text{KCl}} - 8,58$ ; 6,0...6,1 m:  $\text{pH}_{\text{KCl}} - 8,57$ ; 7,0...7,1 m:  $\text{pH}_{\text{KCl}} - 8,50$ .

Pinnaseproovid võeti EMP geoloogia osakonna poolt vibropuuriga ABE. Maapinnale tõsteti praktiliselt rikkumata, 127 mm-se läbimõõduga vibratsiooni tõttu pisut tihenenud puursüdamik. Pinnaseproovide veesisaldus oli vahemikus 13...17%. Profiilide 1...6 mikrobioloogiline analüüs tehti Eksperimentaalbioloogia Instituudis järgmisel päeval pärast proovide võtmist, profiili 7 analüüs – kuuendal päeval. Mikrobioloogiliseks analüüsiks kasutati piirrahendusmeetodit ja selektiivsõõtmeid. Mikroorganismide arvukus väljendati rakkude arvuga 1 g absoluutkuiva materjali kohta. Tulemuste graafiliseks esitamiseks mikroorganismide arvukuse andmed logaritmiti. Ensümaatiline aktiivsus määrati õhukuivadest proovidest. Nitraatreduktaasne aktiivsus väljendati 24 tunni kestel 30° C juures taandatud nitraatlämmastiku, nitritreduktaasne aktiivsus (samades tingimustes) aga nitritlämmastiku milligrammides 100 grammi absoluutkuiva materjali kohta. Ureaasne aktiivsus väljendati karbamiidi hüdrolüüsimisel 24 tunni kestel 37° C juures vabanenud ammoniumlämmastiku milligrammides 100 grammi kohta. Katalaasne aktiivsus väljendati 3 minuti kestel vesinikülhapi 3 %-lisest lahusest eraldunud hapniku milliliitrites

5 grammi absoluutkuiva materjali kohta. Uurimismetoodika täpsem kirjeldus on toodud ühes varasemas *Agraarteaduse* numbris (Murdam jt., 1993).

## Uurimistulemused

### Mikroorganismide arvukus pinnases

Profiilide 1...6 mullakihis oli **ammonifitseerivate bakterite** (joon. 1) esinemissagedus  $10^6$ , profiil 7 mullakihis –  $10^7$  rakku grammis. Väetatava ja vihmutatava Vända kultuurrohumaa all oleva pinnase profiilis vähenes bakterite arvukus sügavuse suunas keskmiselt 1...2 suurusjärgu võrra grammi pinnase kohta. Kultuurrohumaa lähedase metsa all paiknevates profiilides 5 ja 6 alanes ammonifitseerivate bakterite arvukus pinnases järsumalt, olles 3,5 m sügavuses 4...5 suurusjärgu võrra grammis pinnases väiksem kui pindmise kihi mullas. Looduslikul karjamaal profiilis 7 (Vidrike) vähenes ammonifikaatorite arvukus ühe suurusjärgu võrra grammis kuni 1,5 m sügavuseni, kuid 2...7 m sügavuses oli nende arvukus taas sama suur nagu huumushorisondiski –  $10^7$  rakku grammis.

**Nitrititseerivate bakterite** arvukus (joon. 2) oli suurim kõikide uuritud profiilide huumushorisondis –  $10^2...10^6$  rakku grammis. Pinnase sügavuse suurenedes bakterite arvukus alanes järsult, olles juba poole meetri sügavuselt võetud proovides vaid  $10^1...10^2$  rakku grammis. Sügavamalt kui 1 m võetud proovides nitrititseerivad bakterid kas puudusid või oli nende esinemissagedus mõni kuni mõnikümmend rakku grammis. Profiilides 4, 6 ja 7 sisaldasid nitrititseerivaid baktereid kõik proovid.

Kõigi uuritud seitsme profiili huumushorisondis oli **denitrititseerivate bakterite** (joon. 3) arvukus väga erinev –  $10^4...10^8$  rakku grammis. Sama varieeruv oli ka nende vertikaalne jaotuvus pinnases. Nii näiteks alanes kultuurrohumaa profiilides 1, 2 ja 4 bakterite arvukus pinnase sügavuse suurenedes 3...5 suurusjärgu võrra grammis, kuid profiilis 3 selline tendents puudus. Profiilis 2, kus huumushorisondist võetud proov sisaldas denitrititseerivaid baktereid vähem kui teiste profiilide huumushorizontide proovid, ei ületanud denitritifikaatorite arvukus alates 3 m sügavusest kümnet rakku grammis. Looduslike taimekoosluste all paiknevates profiilides 5...7 avaldus denitrititseerivate bakterite arvukuse nõrk vähenemistendents sügavuse suunas.

**Aeroobsete tselluloosi lagundavate bakterite** (joon. 4) arvukus uuritud profiilide mullakihis oli vahemikus mõni kuni mõnikümmend rakku grammis. Nimetatud bakterite arvukuse muutused pinnase profiilis sarnanesid nitrititseerivate bakterite arvukuse (joon. 2) muutustega – mõlema bakterigrupi arvukus sügavuse suurenedes vähenes. Erinevused olid üksnes detailides. Kui nitrititseerivate bakterite arvukus ülemises 0,5 m tusedusega mulla- ja pinnasekihis kõikides profiilides sügavuse suurenedes vähenes, siis aeroobsete tselluloosi lagundavate bakterite arvukus võis väheneda (profiilid 3 ja 5), suurenda (profiilid 2, 4 ja 7) või jääda muutusteta (profiilid 1 ja 6). Sügavamal kui 1 m aeroobsed tselluloosi lagundavad bakterid kas puudusid (profiilid 2 ja 3) või olid esindatud üksnes mõne või mõnekümne rakuga grammis pinnases. Profiilides 6 (mets) ja 7 (looduslik karjamaa) sisaldasid aeroobseid tselluloosi lagundavaid baktereid kõik analüüsitud proovid.

**Mikrovetikate** üldarvukus (joon. 5) oli kultuurrohumaa mullaproovides  $10^5...10^7$ , looduslike taimekoosluste all aga väiksem –  $10^3...10^4$  rakku grammis. Mikrovetikate esinemissagedus muutus pinnase profiilis sarnaselt nitrititseerivate (joon. 2) ja aeroobsete tselluloosi lagundavate (joon. 4) bakterite esinemissageduse muutumisega ülemises 0,5 m tusedusega mulla- ja pinnasekihis vähenes see sügavuse suurenemisega. Sügavamal oli mikrovetikate esinemissagedus profiiliti erinev. Kultuurrohumaa profiilides 1...4 jätkus mikrovetikate arvukuse tugev vähenemine kuni 1 m sügavuseni. Sügavamalt võetud proovides mikrovetikad kas puudusid või tõusis nende arvukus mõnes proovis taas kuni mõnesaja rakuni grammis. Profiilis 3, kus mikrovetikad 1,9...4,2 m sügavuses puudusid, ilmusid nad taas 5 m sügavuselt võetud proovis. Männi-kuuse metsa aluse profiili 6 proovides puudusid mikrovetikad alates 0,8 m sügavusest. Ülejäänud kahes, looduslike taimekoosluste alt analüüsitud profiilides 5 ja 7 oli vetikaid ka sügavamalt võetud proovides.

**Aktinomütseetide** (joon. 6) arvukus oli järgmine: kultuurrohumaa profiilides 1...4 –  $10^6$ , metsa alt analüüsitud profiilides 5 ja 6 –  $10^5$  ning loodusliku karjamaa profiilis 7 –  $10^4$  rakku grammis. Kõikides uuritud profiilides ilmnis selge tendents aktinomütseetide

esinemissageduse sujuvale vähenemisele profiili sügavuse suurenemisega. Erandiks oli kultuurrohumaa profiil 2, kus aktinomütseetide arvukus ülemises 0,5 m tusedusega mulla- ja pinnasekihis alanese ühe suurusjärgu võrra grammis ning püsis seejärel ligikaudu  $10^5$  rakku grammis kuni profiili viimase proovini, mis võeti 5,2 m sügavusest.

Uuritud profiilide mullaproovides oli **mikroseente** (joon. 7) arvukus keskmiselt  $10^4$  rakku grammis. Ka mikroseente esinemissageduse järsem alanemine toimus ülemises 0,5 m tuseduses mulla- ja pinnasekihis. Sügavamal oli seente arvukus võrdlemisi suur – väljendatav sadades või tuhandetes rakkudes grammi kohta. Üksnes kultuurrohumaa profiilis 4 alanese mikroseente arvukus kümne rakuni grammis pinnases, kui proovid olid võetud 3,5...4,5 m sügavuselt.

Kultuurrohumaa profiilis 4, metsaaluses profiilis 6 ja loodusliku karjamaa profiilis 7 määrati ka pinnase mükofloora floristiline koostis kuni perekondadeni. Tabelis 1 on antud identifitseeritud mikroseente perekondade esinemissageduse protsent üldarvukusest (joon. 7). Kultuurrohumaa mullas ja pinnases identifitseeriti kaheksa seeneperekonda. *Penicilliumi* esindatus oli vähene, rohkem oli *Fusariumi* rakke. Metsa all olevas mullas ja pinnases fikseeriti seitse seeneperekonda. Domineerivaks perekonnaks oli *Penicillium*, puudus aga *Mortierella*, mis on olnud esindatud enamikes põllumuldade proovides. Loodusliku karjamaa pinnases oli mükofloora küll arvukas, kuid floristiliselt koostiselt vaesem kui kultuurrohumaa ja metsa all olevas mullas ja pinnases. Määrati üksnes neli seeneperekonda, domineerisid mikroseened perekondadest *Penicillium* ja *Mucor*.

**Joonis 1. Ammonifitseerivad bakterid, rakku/grammis (logaritmid)**  
**Figure 1. Ammonifying bacteria, cells/gram (logarithms)**

*Joonis 2. Nitrifitseerivad bakterid, rakku/grammis (logaritmid)*  
*Figure 2. Nitrifying bacteria, cells/gram (logarithms)*

*Joonis 3. Denitrifitseerivad bakterid, rakku/grammis (logaritmid)*  
*Figure 3. Denitrifying bacteria, cells/gram (logarithms)*

*Joonis 4. Aeroobsed tselluloosi lagundavad bakterid, rakku/grammis (logaritmid)*  
*Figure 4. Aerobic cellulose decomposing bacteria, cells/gram (logarithms)*

*Joonis 5. Mikrovetikad, rakku/grammis (logaritmid)*  
*Figure 5. Microalgae, cells/gram (logarithms)*

*Joonis 6. Aktinomütseedid, rakku/grammis (logaritmid)*  
*Figure 6. Actinomycetes, cells/gram (logarithms)*

*Joonis 7. Mikroseedid, rakku/grammis (logaritmid)*  
*Figure 7. Microfungi, cells/gram (logarithms)*

**Tabel 1. Mikroseeente perekonnad pinnase profiilis / Genera of microfungi in profile of ground**

Profiil 4. Kultuurrohumaa Profile 4. Cultivated grassland		Profiil 6. Mets Profile 6. Forest		Profiil 7. Looduslik karjamaa Profile 7. Natural grassland	
Sügavus, m Depth, m	Perekond Genus	Sügavus, m Depth, m	Perekond Genus	Sügavus, m Depth, m	Perekond Genus
0,02...0,05	<i>Torula</i> – 56 % <i>Mortierella</i> – 17 % <i>Fusarium</i> – 15 % <i>Penicillium</i> – 5 % <i>Botrytis</i> – 5 % <i>Hyphoderma</i> – 1 %	0,02...0,05	<i>Penicillium</i> – 77 % <i>Botrytis</i> – 11 % <i>Mucor</i> – 5 % <i>Fusarium</i> – 5 % <i>Trichoderma</i> – 2 %	0,2...0,3	<i>Penicillium</i> – 77 % <i>Cephalosporium</i> – 2 % <i>Mucor</i> – 2 %
0,05...0,15	<i>Torula</i> – 33 % <i>Fusarium</i> – 23 % <i>Penicillium</i> – 23 % <i>Mortierella</i> – 2 %	0,2...0,4	<i>Penicillium</i> – 61 % <i>Trichoderma</i> – 30 % <i>Geotrichium</i> – 9 %	0,5...0,6	<i>Penicillium</i> – 38 % <i>Zygorynchus</i> – 8 % <i>Mucor</i> – 3 %
0,15...0,30	<i>Penicillium</i> – 47 % <i>Torula</i> – 19 % <i>Mortierella</i> – 17 % <i>Stysanus</i> – 13 % <i>Fusarium</i> – 13 % <i>Hyphoderma</i> – 6 %	0,4...0,6	<i>Penicillium</i> – 100 %	1,0...1,1	<i>Mucor</i> – 50 %
0,8...0,9	<i>Mucor</i> – 50 % <i>Fusarium</i> – 50 %	0,8...0,9	<i>Trichoderma</i> – 80 % <i>Penicillium</i> – 20 %	1,5...1,6	<i>Mucor</i> – 50 % <i>Penicillium</i> – 29 % <i>Torula</i> – 14 %
1,3...1,5	<i>Penicillium</i> – 100 %	1,3...1,5	<i>Torula</i> – 100 %	1,9...2,0	<i>Penicillium</i> – 50 % <i>Mucor</i> – 43 %
2,0...2,2	<i>Torula</i> – 66 % <i>Penicillium</i> – 17 % <i>Stysanus</i> – 17 %	2,8...2,8	<i>Penicillium</i> – 33 % <i>Torula</i> – 33 % <i>Mucor</i> – 33 %	3,0...3,1	<i>Torula</i> – 44 % <i>Mucor</i> – 40 % <i>Penicillium</i> – 10 %
2,4...2,6	<i>Penicillium</i> – 100 %	3,5...3,7	<i>Penicillium</i> – 100 %	4,0...4,1	<i>Mucor</i> – 60 % <i>Penicillium</i> – 40 %
				5,0...5,1	<i>Mucor</i> – 33 % <i>Penicillium</i> – 33 %
				6,0...6,1	<i>Mucor</i> – 72 % <i>Penicillium</i> – 14 %
				7,0...7,1	<i>Mucor</i> – 50 % <i>Penicillium</i> – 17 %

### Pinnase katalüütiline aktiivsus

Mulla või pinnase katalüütilise aktiivsuse mõiste tähistab bioloogilise päritoluga makromolekulide – ensüümide – ja mineraalsete katalüsaatorite summaarset aktiivsust (Kuprevitš, 1958). Nii võivad ensüüm katalaasi asemel vesinikülihapendit lagundada mangaani ja raua ühendid (Vigorov, 1958) ning koos nitritreduktaasiga (või selle asemel) nitriteid taandada kaaliumi, magneesiumi ja raua karbonaadid (Wullstein, 1969). Seega ei tarvitse pinnase katalüütilist aktiivsust tähistavad arvud tabelis 2 ja 3 alati osutada bioloogilise päritoluga katalüsaatorite olemasolule.

Seni uuriti põhiliselt üksnes põllumajanduslikus kasutuses oleva mulla ensümaatilist aktiivsust. Sellises mullas on nitraatide “käive” suurem kui looduslike taimekoosluste all. Vastavalt sellele oli ka mulla **nitraatreduktaasne aktiivsus** kultuurrohumaa mullas 36...87 ühikut, kuid looduslike taimekoosluste all – 12...28 ühikut (tabelid 2 ja 3). Erinevus on kolmekordne. Huumushorisoni all oli pinnase nitraatide taandamise võime kõikides profiilides võrdlemisi sarnane. Ülemises 0...0,5 m tusedusega mulla- ja pinnasekihis

nitraatreduktaasne aktiivsus alanes. Sügavamal kui 0,5 m püsis aktiivsus enamasti vahemikus 0...10 ühikut. Sügavuse edasisest suurenemisest tingitud aktiivsuse muutusi ei esinenud, küll aga paistsid silma profiilidevahelised erinevused. Kui metsatee äärses profiilis 5 2,6...3,4 m sügavusest võetud proovidel nitraatreduktaasne aktiivsus puudus, siis loodusliku karjamaa profiilis 7 taandasid nitraate kõik kuni 7,0 m sügavusest võetud proovid. Võrreldes teiste profiilidega, oli profiil 7 huumushorisoni all olevast pinnasest võetud proovide aktiivsus stabiilsem ja ka mõnevõrra kõrgem.

**Tabel 2. Vihmutatava ja väetatava kultuurrohumaa all oleva mulla ja pinnase ensümaatilise aktiivsus / Enzymatic activity of soil and ground under irrigated and fertilized grassland**

Sügavus, m Depth, m	Nitraatreduktaas Nitratoreductase NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N mg/100 g	Nitritreduktaas Nitritoreductase NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N mg/100 g	Ureaas Urease NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N mg/100 g	Katalaas Catalase O <sub>2</sub> ml/5 g
Profiil 1 / Profile 1 (8. 04. 87)				
0,2...0,3	58,9	3,9	386,2	6,9
0,4...0,5	0,0	0,0	16,2	1,1
1,0...1,1	1,2	0,0	0,9	2,2
1,5...1,6	1,4	0,0	0,0	3,9
1,9...2,0	8,8	0,0	0,5	4,0
2,3...2,4	6,7	0,0	0,0	5,1
2,8...2,9	9,0	0,0	0,0	2,0
3,2...3,3	0,0	0,0	6,1	0,5
Profiil 2 / Profile 2 (8. 04. 87)				
0,1...0,2	40,3	0,0	318,0	9,5
0,3...0,4	22,9	0,0	191,0	3,6
0,5...0,6	4,4	0,0	11,7	1,8
1,1...1,2	6,9	0,0	6,4	2,4
1,9...2,0	14,6	0,0	2,2	5,4
3,0...3,1	0,0	0,0	2,7	2,9
5,2...5,3	8,1	0,0	3,4	2,0
Profiil 3 / Profile 3 (30. 06. 87)				
0,2...0,3	35,7	5,5	242,9	2,8
0,9...1,0	5,4	4,2	2,9	1,5
1,5...1,6	5,3	5,0	0,0	3,4
1,9...2,0	1,7	5,3	0,0	4,7
2,7...2,8	0,6	2,2	0,0	3,3
3,5...3,6	0,3	2,6	0,0	3,4
4,2...4,3	0,0	2,7	0,0	2,7
5,0...5,1	1,1	4,1	0,8	0,9
Profiil 4 / Profile 4 (1. 03. 89)				
0,02...0,05	87,4	20,1	94,9	9,6
0,06...0,15	84,9	20,0	86,4	7,9
0,16...0,30	77,8	16,8	92,2	5,5
0,8...0,9	4,2	5,7	23,6	2,8
1,3...1,5	4,2	2,7	6,4	10,0
2,0...2,2	0,9	4,7	1,5	7,3
2,4...2,6	0,7	3,1	13,6	6,6
3,5...3,6	8,6	2,6	9,1	3,3
4,5...4,6	4,4	5,2	6,9	2,2

**Tabel 3. Looduslike taimekoosluste all oleva mulla ja pinnase ensümaatiline aktiivsus**  
**Enzymatic activity of soil and ground under natural plant associations**

Sügavus, m Depth, m	Nitraatreduktaas Nitratoreductase NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N mg/100 g	Nitritreduktaas Nitritoreductase NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N mg/100 g	Ureaas Urease NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N mg/100 g	Katalaas Catalase O <sub>2</sub> ml/5 g
Profiil 5. Metsatee äärest / Profile 5. At the road through the forest (30. 06. 87)				
0,1...0,2	11,8	4,5	58,8	13,6
0,5...0,6	1,1	6,2	0,0	0,4
1,1...1,2	2,0	4,8	4,2	2,5
1,9...2,0	3,7	3,1	2,5	3,5
2,6...2,7	0,0	1,5	1,0	2,5
3,3...3,4	0,0	5,0	0,0	1,0
Profiil 6. Männimets / Profile 6. Pine forest (1. 03. 89)				
0,02...0,05	14,2	8,9	108,6	12,0
0,2...0,4	15,0	8,6	5,1	3,5
0,4...0,6	21,5	7,8	6,6	1,9
0,8...0,9	11,8	5,4	34,0	1,0
1,3...1,5	0,7	4,5	8,2	1,8
2,0...2,2	0,7	8,7	6,6	2,3
2,6...2,8	0,9	6,6	16,7	3,6
3,5...3,7	4,2	4,2	19,8	1,5
Profiil 7. Looduslik karjamaa / Profile 7. Natural grassland (4. 08. 88)				
0,2...0,3	28,4	0,0	98,1	9,3
0,5...0,6	10,8	0,0	4,6	12,3
1,0...1,1	2,6	0,0	0,0	6,2
1,5...1,6	7,9	0,0	0,0	4,5
1,9...2,0	4,7	0,0	0,0	2,4
3,0...3,1	5,2	0,0	0,0	1,1
4,0...4,1	7,3	0,0	0,0	1,0
5,0...5,1	4,9	0,0	0,0	1,0
6,0...6,1	6,7	0,0	0,0	1,3
7,0...7,1	9,0	0,4	34,4	1,3

Samuti nagu nitraatreduktaasne aktiivsus, ei sõltunud ka **nitritreduktaasne aktiivsus** sellest, kas proovid võeti kultuurrohumaa või looduslike taimekoosluste all olevast mullast ja pinnasest (tabelid 2 ja 3). Küll aga ilmnesid väga tugevad profiilidevahelised erinevused. Kultuurrohumaa profiilis 2 ja loodusliku karjamaa profiilis 7 puudus nitritite taandamise võime kõikidel, nii huumushorisondist kui ka pinnasest võetud proovidel. Profiilis 1 kadus nitraatreduktaasne aktiivsus alates 0,5 m sügavusest. Seega – uuritud seitsmest profiilist kolmes pinnaseproovid nitriteid ei taandanud. Nendes profiilides, kus proovid nitriteid taandasid, olid nitritreduktaasne aktiivsuse muutused pinnase sügavuse suurenedes vähem järsud kui nitraatreduktaasne aktiivsuse muutused. Tuli ka ette, et pinnaseproovide nitritreduktaasne aktiivsus oli sama kõrge nagu mullaski. Varem oleme täheldanud, et mullaproovide nitraatreduktaasne aktiivsus reeglina on mitu korda kõrgem kui nitritreduktaasne aktiivsus. Kuid profiilides 3...6, s.o. nendes profiilides, kus proovid nitriteid taandasid, oli pinnaseproovide nitritreduktaasne aktiivsus isegi kõrgem kui nitraatreduktaasne aktiivsus.

Pinnase sügavuse suurenemise suhtes oli kõige tundlikum **ureaasne aktiivsus** (tabelid 2 ja 3). Ka ureaasne aktiivsuse puhul asus ligikaudu 0,5 m sügavuses kriitiline piir, millest altpoolt võetud proovide aktiivsus oli kas väga madal või puudus. Üksikutel juhtudel siiski suurenes ka mitme meetri sügavuselt võetud proovide ureaasne aktiivsus taas kuni 34 ühikuni.

Muldade kultuuristamisega kaasneb hüdrofüütiliste protsesside intensiivistumine, mille üheks tunnuseks on hüdrolaaside aktiivsuse tõus. Seetõttu on ka kultuurrohumaa huumushorisondist võetud mullaproovide ureaasne aktiivsus kõrgem kui looduslike taimekoosluste alt võetutel. Huumushorisondi alt võetud pinnaseproovide ureaasne aktiivsuse sõltuvus mulla kultuuristatusest puudus. Küll aga ilmnisid ka ureaasne aktiivsuse puhul märgatavad profiilidevahelised erinevused. Kultuurrohumaa aluste profiilide 1 ja 3 ning loodusliku karjamaa aluse profiili 7 pinnaseproovid kas ei lagundanud karbamiidi või avaldus see võime mõnes üksikus proovis. Profiilides 2, 4 ja 6 hüdrofüütilisid karbamiidi kõik analüüsitud proovid.

Uuritud neljast katalüütilise aktiivsuse liigist oli **katalaasne aktiivsus** (tabelid 2 ja 3) ainus, mis ei puudunud ühelgi analüüsitud mulla- ja pinnaseproovil. Samas oli ta ka ainus, mille puhul arvude võrdlemine näitab, et kultuurrohumaa all olevas pinnases oli katalaasne aktiivsus mõnevõrra kõrgem kui looduslike taimekoosluste all. Aktiivsuse alanemisele pealmises 0...1,0 m tusedusega mulla- ja pinnasekihis järgnes mõnedes kultuurrohumaa alt umbes 1,5...3,5 m sügavusest võetud pinnaseproovides taas katalaasne aktiivsuse tõus tasemeni, mis on võrreldav huumushorisondis täheldatuga.

Kokkuvõtteks võib öelda, et tavaliselt oli kõikide profiilide mullakihist võetud proovide katalüütiline aktiivsus kõrgem kui pinnaseproovide aktiivsus. Sügavuse suurenedes aktiivsus alanes. Alates 0,5 m sügavusest, mõnel juhul ka sügavamalt, oli enamiku pinnaseproovide aktiivsus praktiliselt samal tasemel nagu profiilide viimaste proovide aktiivsus. Erinevused vihmutatava ja väetatava kultuurrohumaa ja looduslike taimekoosluste all oleva pinnase katalüütilises aktiivsuses reeglina puudusid. Erandiks oli katalaas, mille aktiivsus kultuurrohumaa all olevas pinnases 1,5...3,5 m sügavuses pisut ületas looduslike taimekoosluste all oleva pinnase aktiivsuse. Küll aga ilmnisid suured katalüütilise aktiivsuse profiilidevahelised erinevused, mis on tingitud pigem pinnase omaduste vertikaalsuunalisest heterogeensusest, s.o. looduslikest põhjustest kui inimtegevusest maapinnal.

### Arutelu ja kokkuvõtted

Alates XX sajandi algusest, aga võib-olla varemgi, on ikka ja jälle leidunud mõni mullateadlane, kes aeg-ajalt meelde tuletab, et erinevused mulla ja elusa koe vahel on struktuuralsed, mitte funktsionaalsed. Ning ikka ja jälle on pealekasvanud teadlas-põlvkonnad jõudnud äratundmisele, et kui mullale ja elusorganismidele on omased ühed ja samad põhitunnused – iseseisev ainevahetus ja protsesside autoregulatsioon, siis on erinevused tõesti üksnes struktuuralsed ning järelikult muld ise on ka elus. Mulla koostisse kuuluvad mineraalne ja surnud orgaanilise aine kõrval ka elusorganismid – mulla loomad, taimede juured, mikroorganismid. Kõik nad on üksteisest pisut erinevad, tihti küll funktsionaalselt dubleerivad (sellest on hädaolukorras kasu), igaühel on mullas oma iseenesestmõistetav roll. Lisanduvad mulla mineraalse osa omadused, aastaegade vaheldumise järjepidev rütmilisus ja palju muud, tunnetatavana võib-olla tabamatut. Toimivana ongi see kõik kokku mulla ainevahetus, autoregulatsioon ja järjepidevus. Kuid mis on olemuselt küll looduslik, aga üsna üksmeelselt siiski elutuks tunnistatud pinnas huumushorisondi all, mitme meetri sügavuses asuv mullatekke lähtekivim? Kas ka see on elus?

### Kas pinnase asustatus mikroorganismidega võib olla väljapsemise tulemus?

Mõned uurijad on täheldanud seost mikroorganismide esinemissageduse ja orgaanilise aine sisalduse vahel pinnases. Igikülmunud setetes ja iidsetes mattunud muldades (Zvjagintsev jt., 1985) ning põhjavee tsooni kruusas ja liivas (Tuschewitski, Gubert, 1988) oli mikroorganismide arvukus kõrgem nendes proovides, mis sisaldasid rohkem orgaanilist ainet. Veel teame, et kõrge huumusesisaldusega muldades on rohkem mikroorganisme kui madala huumusesisaldusega muldades ning et parasvöötme kliimas uueneb igal aastal 2...4 % huumusest (Thompson, Trou, 1982). Võimalik, et osa huumusainete lagunemisel tekkinud orgaanilistest ainetest leostub koos mikroorganismidega ja et see protsess on ulatuslikum seal, kus pinnast katva mullakihi huumusesisaldus on suurem.

Mulla mineraalse osa summaarse negatiivse ning mikroobirakkude pinna summaarse positiivse laengu tõttu on mikroobirakud kinnistunud mullaosakestele ning nende vaba

massiline kandumine sügavamale pinnasesse on seetõttu vähe tõenäoline. Kuna aga vesi, sealhulgas mullavesi, sisaldab mikroorganisme, ei saa siiski päris kindel olla ka selles, et mikroobirakkude leostumine on välistatud. Kui pinnaseproovid on kogutud geograafilistest punktidest, kus muld ja pinnas alluvad aastaegade vaheldumisest tingitud külmumise-sulamise vahelduvale režiimile, siis on vähemalt teoreetiliselt võimalik, et koos sulamisvetega kanduvad mööda pinnase poore allapoole nii vees olnud mikroobirakud kui ka mõningane kogus orgaanilist ainet.

Kahe andmerühma olemasolu võimaldab väita, et mikroorganismide suhteliselt kõrge arvukuse põhjuseks pinnases ei ole väljapesemine, vaid mikroorganismide erakordne võime peatada pikaks ajaks elutegevus, püsida konserveerununa seal, kuhu nad Maa ajaloos esinenud kataklüsmide ajal sattusid, säilitades seejuures võime elustuda. Esiteks on Moskva Riikliku Ülikooli mullateaduse ja agrokeemia kateedri teadlaste uuringud Koola poolsaarel ja Jamali madalikul näidanud, et mitme miljoni aasta vanustes igikülmunud proovides on mikroorganismid säilinud ning nende elustumine võib toimuda väga kiiresti. Ribonukleiinhapete süntees, see on valgu sünteesi ettevalmistav etapp, algas mikroobirakkudes juba poole tunni möödudes pärast igikülmunud muldade ja lähtekivimite proovide ülessulatamist (Simonova jt., 1989). Igikülmunud proovid sisaldasid  $10^3 \dots 10^7$  bakterirakku grammis pinnases (Zvagintsev jt., 1989). Need bakterirakud pidid olema säilinud pinnases eluvõimelistena vähemalt selle aja kestel, mil pinnas oli külmunud.

Teise rühma moodustavad käesolevas artiklis esitatavad andmed. Kui pinnase mikrofloora mitme meetri sügavuses oleks üksnes mullast väljapesemise tulemus, siis oleks loogiline, et vihmutatava kultuurrohumaa all on mikroorganismide arvukus suurem kui metsa või loodusliku karjamaa all olevas pinnases. Vihmutuse all olnud pinnases oleks pidanud leiduma kõrgenenud arvukusega mikroorganismide võõnd, sest vihmutamine avaldab täiendavat survet, mis vete loodusliku liikumisega kaasnevale väljapesemisele peaks kaasa aitama. Mingit kõrgenenud mikroorganismide arvukusega võõndit me vihmutatava kultuurrohumaa all olevas pinnases aga ei leidnud. Iga mikroobirühma pinnases esinemissageduse kirjeldusele võinuksime lisada märkuse – arvukuse erinevused vihmutatava ja väetatava kultuurrohumaa all ja looduslike taimekoosluste all olevas pinnases puuduvad. Kui jooniste võrdlemisel leiamegi näiteks, et ammonifitseerivate bakterite, aktinomütsetide ja mikroseeente arvukus on kultuurrohumaa all olevas pinnases pisut kõrgem kui looduslike taimekoosluste all ning denitriifitseerivate bakterite arvukus, vastupidi, on kõrgem looduslike taimekoosluste all, siis võib see vabalt olla tingitud sellest, et omal ajal võeti põllumajanduslikku kasutusse teistsuguste omadustega maatükk kui see, mis jäi metsa alla või looduslikuks karjamaaks. Küll aga võime öelda, et looduslike taimekoosluste all tundub mikrofloora vertikaalne jaotuvus pinnases olevat ühtlasem (joonised 1...7). Kolmest profiilist looduslike taimekoosluste alt (profiilid 5...7) sisaldasid kahe profiili kõik proovid sügavustundlikke nitrifitseerivaid ja aeroobseid tselluloosi lagundavaid baktereid ning mikrovetikaid (joonised 2, 4, 5). Neljast profiilist vihmutatava kultuurrohumaaalt (profiilid 1...4) oli aga üksnes profiil 4 selline, kus kõik proovid olid asustatud nitrifitseerivate bakteritega (joonis 2). Mikroorganismide esinemissageduse põhjal vihmutatava kultuurrohumaa ja looduslike taimekoosluste all olevas pinnases (valdavalt aluselise reaktsiooniga saviliivmoreen) võime ilma suurema eksimiskartuseta järeldada, et mikroorganismid on püsinud eluvõimelistena alates pinnasekihtide ladestumisest viimase jääaja lõpuperioodil.

### **Mikroorganismide esinemissagedust pinnases iseloomustab nii vertikaal- kui ka horisontaalsuunaline mitmekesisus**

Pinnase sügavuse suurenedes mikroorganismide arvukus küll alaneb, kuid sügavus iseenesest ei ole faktor, mis mõjuks mikroorganismide eluvõimele hävitavalt. Kõigist seitsmest puuraugust, kuni seitsme meetri sügavuselt võetud 56 mulla- ja pinnaseproovi sisaldasid mikroorganisme, kuid mitte kõik proovid ei sisaldanud kõikide mikroobigruppide eluvõimelisi esindajaid. Mikroorganismide esinemissagedus erinevate profiilide huumus-

horisondis ja vertikaalne jaotuvus pinnase profiilis on ebaühtlane. Mikroorganismide arvukus erineb nii lähestikuste profiilide ühes ja samas sügavuses kui ka ühe ja sama profiili erinevates sügavustes. Ka selgelt avalduva alanemistendentsi korral võib mikroorganismide arvukus sügavamalt võetud proovides taas suureneda mitme suurusjärgu võrra grammis. Näib olevat tavaline, et ühe ja sama mikroobigrupi eluvõimeliste (selektiivsöötmetel kasvama hakkavate) esindajate esinemissagedus võib pinnase sügavuse suurenedes ühtedes profiilides tugevalt alaneda, aga teistes profiilides puudub isegi alanemise tendents. Arvukuse alanemistendents puudus ühes profiilis ammonifitseerivate (joonis 1) ja kahes profiilis denitrifitseerivate (joonis 3) bakterite puhul. Ammonifitseerivate bakterite, aktinomütsetide ja mikroseeente arvukus on erinevatest kohtadest võetud mullaproovides sarnane. Joonistelt 1, 6 ja 7 on näha, et pinnase sügavuse suunas nimetatud kolme mikroobirühma eluvõimeliste esindajate esinemissagedus lahkneb. Seega on ka ühel ja samal sügavusel pinnase asustatus mikroorganismidega heterogeenne.

Fotoautotroofsete mikrovetikate olemasolu võimalus isegi huumushorisondi allosas võib tekitada küsimusi. Mikrovetikate hulgas on obligaatseid (rangeid) fototroofe, kelle eluavaldused on tõepoolest võimalikud üksnes valguse olemasolul. Füüsikute andmetel võib valgus tungida mullas kuni 5 cm sügavuseni (Baskin, 1969, 1972). Osale mikrovetikatest aga on omane fakultatiivne heterotrofism. Sellistel mikrovetikatel on küll olemas pigmendid valgusenergia kasutamiseks, kuid samal ajal on nad varustatud ka ensüümsüsteemiga, mis võimaldab neil saada energiat ja toituda sarnaselt heterotroofsete bakteritega. Enamik mikrovetikatest on liikumisvõimelised ja nad on mullaosakestega suhteliselt nõrgalt seotud. Mikrovetikate vertikaalne ümberpaiknemine huumushorisondis on võimalik vihma toime ja vihmausside seedetrakti vahendusel, või liiguvad nad ise põua ajal niiskemat ümbrust otsides sügavamale. On aga vähe usutav, et nad liiguksid seejuures mineraalses pinnases mitme meetri sügavusse. Valguse puudumine vetikaid ei hävita, küll aga takisab nende paljunemist. Nii ei olegi midagi hämmastavat selles, et huumushorisondi 15...20 cm sügavuses võib mikrovetikate arvukus vahel osutada kõrgemaks kui mullapinna vahetus läheduses. Ka moodustavad mõned mikrovetikad liikumisvõimelisi zoospore, mis selektiiv-söötmetele külvatuna hakkavad kasvama (Lund, 1967).

### **Ühed mikroorganismid on pinnase sügavuse suhtes tundlikud, teised mitte eriti**

Tundlikkuse järgi pinnase sügavuse suhtes jagunesid uuritud mikroobigrupid kahte rühma. **Esimese rühma moodustasid sügavuse suhtes vähetundlikud mikroorganismid – ammonifitseerivad ja denitrifitseerivad bakterid, aktinomütseedid ja mikroseedid.** Nende mikroorganismide arvukus alanes piki pinnase profiili sügavuse suunas suhteliselt sujuvalt. Leidis üksnes mõni pinnaseproov, kus nimetatud mikroobigruppide eluvõimelised esindajad puudusid, ilmselt põhjusel, et väljakülviks selektiivsöötmetele kasutati liiga kõrget lahjendusmäära.

**Teise rühma moodustasid sügavustundlikud mikroorganismid – nitrifitseerivad ja aeroobsed tselluloosi lagundavad bakterid ning mikrovetikad.** Nende mikroorganismide arvukus alanes järsult huumushorisondist kuni 0,5...1,0 m sügavuseni ning seejärel stabiliseerus. Sügavamalt võetud proovides sügavustundlikud mikroorganismid kas puudusid või olid nad esindatud mõne kuni mõnesaja rakuga grammis pinnases. Mõnes profiilis, pärast arvukuse esmast järsku alanemist puuraugu ülaosast võetud proovides, kadusid sügavustundlikud mikroorganismid sügavamal kas täielikult või ilmusid taas puuraugu viimastes proovides. Oli ka selliseid profiile, valdavalt looduslike taimekoosluste alt, kus nitrifitseerivad ja aeroobsed tselluloosi lagundavad bakterid ja mikrovetikad olid kõikides proovides kogu profiili ulatuses esindatud mõne rakuga grammis pinnases.

Mikroorganismide esinemissagedus pinnase (lähtekivimi) profiilis sõltub nende füsioloogilistest iseärasustest – suhtumisest vaba hapniku olemasolusse keskkonnas ja kasutatava energiaallika iseloomust. Pinnase sügavuse suhtes vähetundlikud mikroorganismid on heterotroofid, kes energiaallikana kasutavad orgaanilise aine süsinikuaatomite vaheliste sidemete lagundamisel vabanevat keemilist energiat. Sügavustundlikud mikroorganismid on kas valgusenergiat kasutavad fotoautotroofid (mikrovetikad), redutseeritud vormis anor-

gaaniliste ühendite keemilist energiat kasutavad kemoautotroofid (nitrifitseerivad bakterid) või molekulaarse hapniku olemasolu vajavad aeroobid (nitrifitseerivad ja aeroobsed tselluloosi lagundavad bakterid). Kuigi nitrifitseerivad bakterid on samaaegselt nii aeroobid kui ka autotroofid, piirab nende esinemissagedust ja tegevust pinnases siiski üksnes hapnikuvajadus, mitte aga autotroofne toitumistüüp. Hapniku olemasolul võiksid kemoautotroofsed nitrifitseerivad bakterid energia saamiseks oksüdeerida peale redutseeritud vormis lämmastikuühendite, teisigi lihtsamaid redutseeritud vormis anorgaanilisi ühendeid või aineid, näiteks metaani (CH<sub>4</sub>).

Fototroofide ja aeroobide vähene arvukus pinnases näitab, et paljunemiseks kestvalt ebasobivates tingimustes on ka nende eluvõime kestvus madalavõitu.

### **Vahesein mõistete *elus* ja *eluta* vahel on looduses õhuke**

Et mitte sulgeda loodustunnetuse teel uksi enda ees ega järel, on esialgu ehk mõistlikum mitte tegeleda ennatlike järeldustega moodustest, kuidas anaeroobsed bakterid sattusid kolmesaja meetri sügavuses asuvatesse settekivimitesse (Phelps jt., 1989) või mida teeb mulla mikroobikooslus esmatahtsate funktsioonide kandjate täies esindatuses seitsme meetri sügavuses pinnases. Selleks teame me eluvormide võimalikest olemise viisidest ja eesmärkidest looduse varjatumates osades veel liiga vähe. Tuginedes miljonite aastate vanuse settekivimite geomikrobioloogilise analüüsi andmetele, tundub olevat ilmne, et vähemalt selline makrolooduses oluline kategooria nagu aeg ei oma mikrolooduses tähtsust. Kindla eluea kestusega piiratud makroorganismide jaoks on aeg absoluutne ja nende suhe ajaga on lineaarne. Mikroorganismide võimaliku eluea (näiteks, ajavahemik bakteriraku kahe järjestikuse pooldumise vahel) kestuse põhjal settekivimites võib öelda, et mikro-organismide suhe ajaga on relatiivne. Ühe bakteriraku eluiga soodsas kasvukeskkonnas võib olla mõni minut, kuid paljunemiseks ebasoodsates tingimustes võib see kesta tuhandeid ja miljoneid aastaid. Taolise elusolemise kohta on ehk sobivam öelda – konserveerunud, potentsiaalselt elus. Mikroorganismide relatiivsel seosel ajaga on aga suur tähtsus elu järjepidevusele makrolooduses. Kui looduslike kataklüsmide tagajärjel satub maapinnale pinnase sügavusse ladestunud materjal, siis anabioosi seisundis mikrofloora näol on sellesse programmeeritud võimalus samasugusteks eluavaldusteks nagu põllumulla viljakas huumushorisondiski. Ilmastikumõjurite kaasabil kivilinenud setted murenevad ja muutuvad kõigi mulla eluks vajalike mikroorganismidega asustatud mullaks.

Pinnase sügavuses pole mitte üksnes polüfunktsionaalne, konserveerunud eluavaldustega mikrofloora. Elutuks peetud pinnasele on omane ka potentsiaalne katalüütiline aktiivsus, mis transformeerib mulla eluprotsessides olulised ained ühest olekust teise. Nii puhtvalgulise struktuuriga ureaas kui ka metalloproteiidid nagu nitraatreduktaas ja katalaas, kus ensüümi aktiivtsentris on muutuva valentsiga metall (antud juhul molübdeen ja raud), annavad üsna tähelepanuväärse, mulla aktiivsusega võrreldava arvu ka viie või seitsme meetri sügavusest pärinevates proovides. Kui pinnase katalüütiline aktiivsus ongi tingitud üksnes mineraalsetest katalüsaatoritest, siis tuleb tõdeda, et vahesein mõistete *elus* ja *eluta* vahel on looduses küll üpris õhuke ja tinglik. Oluline on tulemus – reaktsioon toimub. Ei ole oluline, kas selles osalevad bioloogilise päritoluga katalüsaatorid (ensüümid), mineraalsed katalüsaatorid või mõlemad koos.

Geomikrobioloogilistest uuringutest tuleneb ka üks praktilise tähtsusega järeldus. Kui ehitustegevuse, transpordivõrkude või kaevandusalade rajamisega seoses on vaja pinnas koorida, siis võib mullakihi säilitamiseks ladustada. Mulla potentsiaalne valmisolek eluavalduste jätkamiseks ajas ei hävi.

### **Järeldused**

1. Pinnas (lähtekivim) huumushorisoni all ei ole elutu, vaid sisaldab baktereid, aktinomütseete, mikroseeni ja mikrovetikaid ning omab potentsiaalset katalüütilist aktiivsust kõikide mulla mikroobikooslusele omaste funktsioonide osas. Pinnase sügavuse suurenedes mikroorganismide arvukus ja pinnase katalüütiline aktiivsus tavaliselt alaneb. Valdavalt toimuvad mikroorganismide arvukuse suuremad muutused ülemises 0,0...0,5 m, mõnel juhul ka kuni 1,0 m tusedusega mulla- ja pinnasekihis.

2. Mulla ja pinnase asustatus mikroorganismidega on ebahütlane. Mikroorganismide esinemissageduse ja katalüütilise aktiivsuse jaotumist pinnases iseloomustab nii horisontaalkui ka vertikaalsuunaline mitmekesisus. Arvandmed erinevad nii lähestikuste profiilide ühes ja samas sügavuses kui ka ühe ja sama profiili erinevates sügavustes. Tihti kanduvad erinevate profiilide huumushorisondist võetud proove iseloomustavate arvandmete erinevused üle ka huumushorisondi all olevasse pinnasesse.

3. Mikroorganismide reageerimine pinnase sügavuse suurenemisele sõltub nende poolt kasutatava energiaallika iseloomust ja suhtumisest hapnikku. Tundlikkuse järgi pinnase sügavuse suhtes jagunevad mikroorganismide füsioloogilised ja funktsionaalsed grupid kahte rühma. Esimese rühma moodustavad heterotroofse toitumistüübiga ammonifitseerivad ja denitrifitseerivad bakterid, mikroseened ja aktinomütseedid. Nimetatud mikroorganismide eluvõimelisuse sõltuvus pinnase sügavusest on väike ning nende esinemissagedus alaneb sügavuse suurenedes suhteliselt sujuvalt. Teise rühma moodustavad nitrifitseerivad ja aeroobsed tselluloosi lagundavad bakterid ning mikrovetikad. Need on aeroobsed või fototroofsed mikroorganismid, kelle esinemissagedus alaneb järsult ülemises 0...0,5 m, vahel ka kuni 1,0 m tõesuses mulla- ja pinnasekihis. Sügavamal on need mikroorganismid esindatud mõne või mõnekümne, harvem mõnesaja rakuga grammis pinnases.

4. Mikroorganismide arvukuse ja katalüütilise aktiivsuse selgelt äratuntavad erinevused vihmutatava ja väetatava kultuurrohumaa ning looduslike taimekoosluste all olevas pinnases puuduvad. Pinnaseproove iseloomustavate arvandmete mõningane lahknevus võib olla tingitud sellest, et põllumajanduslikku kasutusse võeti maatumik, mis erines metsa alla jäänust või looduslikust karjamaast. Tehakse järeldus, et pinnase asustatus mikroorganismidega ei ole mikroobirakkude pinnasest väljapeseamise tulemus, vaid et leitud eluvõimelised mikroorganismid on anabioosi seisundis säilinud alates ajast, mil pinnasekihid looduslikel põhjustel moodustusid. Üldtoodust tuleneb, et mikroorganismide suhe ajaga on relatiivne, mitte absoluutne, nagu see on omane kindla, liigile vastava eluea kestusega piiratud mikroorganismidele.

5. Kui tekib vajadus mullakiht lähtekivimilt koorida, siis võib muld säilitamiseks ladustada, ilma et ta kaotaks mõne oma olulistest bioloogilistest funktsioonidest.

### Kirjandus

- Baskin: Баскин В. В. Отражение и пропускание света поверхностным слоем почвы. – Физика почвы. Сборник трудов по агрономической физике. Вып. XIX. – Ленинград, с. 132...146, 1969.
- Baskin: Баскин В. В. Лучистая энергия верхних слоев почвы. – Исследование процессов обмена энергии и вещества в системе почва–растение–воздух. – Ленинград, с. 205...211, 1972.
- Hebnikova jt.: Хлебникова Г. М., Гиличинский Д. А., Федоров-Давыдов Д. Г. Динамика численности микроорганизмов в вечно-мерзлых почв и пород в зависимости от возраста. – Биодинамика почв. – Тезисы докладов 3-го Всесоюзн. симп., Харку, 25...27 окт. 1988. – Таллинн, с. 162, 1988.
- Kuprevišt: Купревич В. Ф. Вопросы почвенной энзимологии. – Вестн. АН БССР, № 4, с. 52...57, 1958.
- Lund, J. W. G. Soil algae. – Soil Biology. – London – New York, p. 129...147, 1967.
- Murdam, L., Kirch, R., Kuldkepp, P., Vardjas, N., Maalman, I. Erineva C/N suhtega orgaaniliste väetiste mineraliseerumisest karbonaatmullas. – Agraarteadus, nr. 3, lk. 244...265, 1993.
- Phelps, T. J., Fliermans, C. B., Garland, T. R., Pfiffner, S. M., White, D. C. Methods for recovery of deep terrestrial subsurface sediments for microbiological studies. – J. Mikrobiol. Meth., vol. 9, No. 4, p. 267...269, 1989.
- Simonova jt.: Симонова А. А., Соина В. С., Кольчугина Т. П., Воробьева Е. А. Характеристика микроорганизмов в вечномерзлых осадочных породах. – Тр. 10-ого Научн. конф. мол. уч. МГУ. – Москва, с. 62...64, 1989. (Деп. в ВИНТИ 21.07.89, № 4884–В89).
- Zvjadintsev jt.: Звягинцев Д. Г., Гиличинский Д. А., Благодатский С. А., Воробьева Е. А., Хлебникова Г. М., Архангелов А. А., Кудрявцева Н. Н. Длительность сохранения микроорганизмов в постоянно мерзлых осадочных породах и погребенных почвах. – Микробиология, 54, № 1, с. 155...161, 1985.

- Zvjagintsev jt.: Звягинцев Д. Г., Хлебникова Г. М., Гиличинский Д. А., Федоров-Давыдов Д. Г., Чайковская Н. П. Вечная мерзлота, почвы и микроорганизмы. – Тез. докл. 8-ого Всесоюзн. съезда почвоведов в Новосибирске, 14...18 авг. 1989. Кн. 6. – Новосибирск, с. 269...273, 1989.
- Thompson, Trou: Томпсон Л., Трой Ф. Почвы и их плодородие. – Москва, 1992. – 464 с.
- Tuschewitzki, G.-J., Grubert, L. Rasterelektronenmikroskopische und kulturelle Untersuchungen zur mikrobiellen Besiedlung von Sandkörnern und Geröllen aus dem Grundwasserbereich. – Z. Dtsch. Geol. Ges., Bd. 139, No. 2, S. 321...329, 1988.
- Vigorov: Вигоров Л. И. Особенности каталазы подсолистой почвы. – Докл. АН СССР. Почвоведение, 122, № 6, с. 1107...1110, 1958.
- Wullstein, L. H. Reduction of nitrite deficits by alkaline metal carbonates. – Soil Sci., vol. 108, No. 3, p. 222...226, 1969.

## THE GEOMICROBIOLOGY OF SOIL AND SUBSOIL UNDER IRRIGATED GRASSLAND AND UNDER NATURAL PLANT ASSOCIATIONS

L. Murdam, M. Metsur, N. Vardjas, I. Maalman

### Summary

Selective culture media were used to determine the number of ammonifying, nitrifying, denitrifying and aerobic cellulose decomposing bacteria, actinomycetes, microfungi and microalgae in soil and basic rock under irrigated and fertilized grassland (4 boreholes), under forest (2 boreholes) and natural grassland (1 borehole). Nitratoreductase, nitritoreductase, urease and catalase activity were also determined. The samples were taken to a depth of 7 metres, using vibroborer.

1. The subsoil under the humus horizon is not lifeless, but contains bacteria, actinomycetes, microfungi and microalgae, and is characterized by remarkable potential catalytic activity in all functional respects, specific to associations of soil microorganisms. Increasing depth of samples lead to a drop in the frequency of occurrence of microorganisms and catalytic activity. This took place more abruptly in upper layer of 0...0.5 m or 0...1.0 m of soil and subsoil.

2. The number of microorganisms and catalytic activity varied extensively in samples taken from different depths and boreholes. Both vertical and horizontal diversity characterizes the distribution of microbial cells and catalytic activity in subsoil. Data differ both in the same depth of different boreholes and in different depths of the same borehole. Sometimes the differences between the samples taken from the humus horizon of different profiles characterised the subsoil under the humus horizon as well.

3. The response of microorganisms to increasing depth of subsoil depends upon the source of energy and supply of oxygen. Regarding sensitivity to depth microorganisms can be divided into two groups. Less depth-sensitive were heterotrophic microorganisms – ammonifying and denitrifying bacteria, microfungi and actinomycetes. The viability of these microorganisms was not significantly dependent upon the depth of subsoil and the frequency of their occurrence almost linearly with depth. Depth-sensitive microorganisms were nitrifying and aerobic cellulose decomposing bacteria and microalgae. These are aerobic or phototrophic microorganisms and the frequency of their occurrence dropped abruptly in the upper layer of 0...0.5 m of soil and subsoil. Deeper than 0.5 m or 1.0 m the depth-sensitive microorganisms were found in some, tens or some hundreds cells per gram.

4. There were no recognizable differences in the number of microorganisms and catalytic activity between the subsoil under irrigated and fertilized grassland and under natural plant associations. A certain diversity in data may have been from differences between the natural

qualities of plots, taken into agricultural use or left for forest and natural grassland. This gives grounds to draw a conclusion about the existence of subsoil microflora, not as the outcome of leaching, but as a results of natural processes of stratification of the basic rock, closing microbial cells as well and conserving them for a long time in a state of anabiosis. This means that the response of microorganisms to time is relative, not absolute, as is typical for macroorganisms, limited by a fixed period of life, characteristic to species.

5. When the need arises to separate the humus horizon from the subsoil, the humus horizon can be depotted for a long time. The soil does not lose its capability to revive.

## ПОЧВА И МАТЕРИНСКАЯ ПОРОДА ПОД ОРОШАЕМЫМ КУЛЬТУРНЫМ ЛУГОМ И ПОД ЕСТЕСТВЕННЫМИ АССОЦИАЦИЯМИ РАСТЕНИЙ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ГЕОМИКРОБИОЛОГИИ

Л. Мурдам, М. Метсур, Н. Вардьяс, И. Маалманн

### Резюме

На селективных средах опережали численность аммонифицирующих, нитрифицирующих, денитрифицирующих и аэробных целлюлозоразлагающих бактерий, актиномицетов, грибов и водорослей в почве и в материнской породе под орошаемый и удобряемым культурным лугом (4 буровой скважины), под лесом (2 буровой скважины) и под пастбищем (1 буровая скважина). Определяли также нитратредуктазную, нитритредуктазную, уреазную и каталазную активность проб. Пробы были взяты вибробурой с глубины до 7 метров.

1. Материнская порода под гумусным горизонтом не безжизненная, а содержит бактерии, актиномицеты, грибы и водоросли и обладает каталитической активностью в отношении всех биологических функций, свойственных почвенной микрофлоре. Численность микроорганизмов и каталитическая активность, как правило, вниз по профилю снижаются. В преобладающем большинстве более заметные изменения имеют место в верхнем слое почвы и материнской породы толщиной 0,0...0,5 м, иногда 0,0...1,0 м.

2. Заселенность почвы и материнской породы микроорганизмами неравно-мерная. Распределение частоты встречаемости микроорганизмов и каталитической активности в материнской породе характеризуется как вертикальными, так и горизонтальным разнообразием. Соответствующие величины различаются как на одной и той же глубине разных профилей, так и на разных глубинах одного и того же профиля. Часто различия между пробами, взятыми из гумусного горизонта, переносятся также в подпочву.

3. Активность микроорганизмов в глубине почвенного профиля зависит от характера используемого ими источника энергии и отношения к кислороду. По чувствительности к глубине микроорганизмы делятся на две группы. В первую группу принадлежат гетеротрофные микроорганизмы – аммонифицирующие и нитрифицирующие бактерии, грибы и актиномицеты. Зависимость жизнеспособности названных микроорганизмов от глубины материнской породы невелика и частота их встречаемости вниз по профилю снижается относительно плавно. Во вторую группу принадлежат нитрифицирующие и аэробные целлюлозоразлагающие бактерии и водоросли. Названные микроорганизмы являются аэробами или фототрофами и частота их встречаемости в почве и в материнской породе резко снижается в слое толщиной 0,0...0,5 метров. В более глубоких слоях материнской

породы эти микроорганизмы представлены несколькими десятками или сотнями клеток в одном грамме.

4. Ясно выраженные различия в численности микроорганизмов и каталитической активности материнской породы под орошаемым и удобряемым культурным лугом и под естественными сообществами растений отсутствуют. Некоторое отклонение данных, характеризующих пробы подпочвенного грунта, может быть обусловлено тем, что участок, взятый на сельскохозяйственное использование, отличается от оставленных под лес или пастбище. Заселенность материнской породы микроорганизмами не является результатом вымывания микробных клеток из гумусного горизонта. Найденные жизнеспособные микроорганизмы сохранялись в грунте в состоянии анабиоза с времени природной стратификации слоев грунта. Из выше изложенного вытекает, что отношение микроорганизмов к времени относительное, а не абсолютное, как это свойственно макроорганизмам, ограниченным определенной длительностью жизненного цикла, характерным для вида.

5. В случае необходимости почвенный слой можно отделить от грунта и сохранить долгое время. Почва не теряет свою способность оживиться.