

3

Jordmånen i förändring

Markku Yli-Halla och Asko Simojoki

Jordmånen kulturtillstånd är grunden för växtproduktionen. För att växten skall kunna assimilera effektivt skall den ha ett välmående rotsystem med vilket den kan uppta vatten från jorden och växtnäring som löst sig i vattnet. Jorden som växtunderlag för växterna är ofta det första man kommer att tänka på när man pratar om jordmånen. Dagligen åtnjuter vi också andra ekosystemtjänster som jordmånen producerar och som man kan dela upp t.ex. på följande sätt:

- Produktion av biomassa: jord- och skogsbrukets basuppgift
- Lagring, filtrering och omvandling av näringsämnen, vatten och andra ämnen
- Upprätthållande av den biologiska mångfalden (naturtyper, arter, gener)
- Kollager; jordmånen och atmosfärens interaktion
- Källa till råmaterial
- Människans fysiska och kulturomgivning; byggnadsgrund för infrastruktur

Jordmånen skyddar grundvattnen och binder till sig växtnäringsämnen och andra ämnen. Stora och små organismer i jorden är i stor utsträckning ansvariga för kretsloppet av ämnen när de nedbryter organogen substans såsom döda växter och stallgödsel som hamnar i jorden. Biologisk mångfald har också ett värde i sig. Jordbruksidkaren kommer i kontakt med jordmånen alla ovan nämnda funktioner.

I lantbruksproduktionen och på andra ställen i livsmedelskedjan rör det sig stora ämnesflöden. De faktorer som reglerar växternas tillväxt påverkar de här ämnesflödenas storlek. En sakkunnig inom växtproduktion kan specificera vilken eller vilka tillväxtfaktorer som vid olika tidpunkter kan begränsa växternas tillväxt. De organogena och industriellt framställda gödselmedel man i växtproduktion tillägger i odlingsjorden och vars avsikt är att befrämja tillväxten, hamnar med i jordens reaktioner. Det är alltså också nödvändigt att känna till jordens egenskaper och funktioner vid skötsel av jordens kulturtillstånd och kontroll över jordbrukets miljöeffekter.

I jorden sker det hela tiden förändringar vars tidsspann varierar. På sommaren är jorden varm och under en del av vintern t.o.m. frusen. Temperaturen inverkar på de kemiska reaktionernas och biologiska processernas hastighet. En del av tiden är jorden mättad av vatten och ibland lider växterna av vattenbrist. När man tar mark i jordbruksanvändning bearbetar man den vanligtvis. Då blandas de naturliga skikten i jorden grundligt och det bildas ett för odlingsjord typiskt bearbetningsskikt. I Finland dikar man odlingsjordarna nästan utan undantag vilket betyder en grundlig förändring av jordens vattenhushållning. Vanligtvis tillägger man gödslingsmedel i odlingsjorden. Beståndsdelarna i organogena gödselmedel såsom stallgödsel eller kompost och konstgödsel deltar i det kretslopp av ämnen som sker i jorden. Jordens näringshalter ändrar som en följd av växternas upptagning av näringsämnen, gödsling, utlakning och utsläpp av gaser. Halten organogen substans i jorden förändras med tiden beroende på om flödet av ny organogen substans till jorden är större eller mindre än nedbrytningen av den organiska substansen i jorden. Mineralsubstans i jorden är också utsatt för förändringar som visserligen är långsamma. När jorden får utvecklas tusentals år bildas det olika lager dvs. horisonter som differentieras kemiskt och som man ofta också kan se med blotta ögat. Det här kapitlet presenterar jordens basegenskaper och tar mångsidigt upp förändringarna som hela tiden sker i den här väsentliga delen av miljön som vi ofta upplever som omärkbar och statisk.

faktaruta

Faktorer som är hot mot jordmånens kondition

Betydelsen av jordmånens funktioner är man medveten om i EU, och i början av 2000-talet avlämnade kommissionen ett meddelande som identifierade följande faktorer som är hot mot jordmånens kondition i Europa:

- Erosion
- Minskning av organisk substans
- Förorening: diffus belastning och punktblastning
- Försaltning
- Tillpackning
- Minskning av biologisk diversitet
- Övertäckning av jordmånen genom byggande
- Jordskred och översvämningar

Det har också föreslagits att markens surhet skall finnas i den här förteckningen. Många av de här faktorerna gäller också jordbruket i Finland och leder småningom till försämrat kulturtillstånd av marken. Minskning av organisk substans försvagar markens förmåga att absorbera näringsämnen och vatten samt överlag jordens förmåga att binda till sig olika ämnen. En följd är också markens försämrade bearbetbarhet, ökad packningskänslighet och minskad vattenabsorption.

Skadlig tillpackning av jorden som beror på tung åkertrafik när marken är våt, förorsakar uttryckligen minskad vattenabsorption och försämrad tillväxt av åkergrödornas rötter. Minskad förmåga att absorbera vatten leder till större erosionsbenägenhet när en allt större andel av det vatten som når marken transporteras bort som ytavrinning.

Erosion betyder att markens fasta substans förs bort från åkern och det riktas i huvudsak till den näringsrika, finfördelade substansen. I Finland förekommer huvudsakligen vattenerosion.

Erosionsmaterialet hamnar i vattendragen där den förorsakar grumling, grundare vattendrag och muddringsbehov samt också övergödning av vattendragen speciellt pga. den fosfor som frigörs från materialet. I jordbruket kan man begränsa erosion genom att lämna åkern obearbetad på hösten och upprätthålla växttäckning på åkrarna också utanför växtperioden då största delen av avrinningen sker.

Övertäckning av jordmånens genom byggande är i huvudsak en följd av urbaniseringen. Bra odlingsmark tas i bruk för byggande och täcks över med asfalt eller andra material som inte släpper igenom vatten. Sådana områden finns mest i huvudstadsregionen. T.ex. i Vanda var andelen sådana områden år 2009 redan 22 % av markarealen och i Helsingfors 36 %. Jordmånens förorening är ett problem speciellt på gamla industriområden. I Finland är de förorenade markområdena för det mesta gamla servicestationsområden på vilka föroreningen är oljeproduktbaserad, och såg- eller impregneringsområden där de skadliga ämnena härstammar från träskyddsmedel. Försaltning i sin tur kan upptäckas i torra regioner där den årliga avrinningen inte sköljer bort lösliga salter som finns i jorden. Det här är i princip ett betydande hot mot jordbruket, men i Finlands fuktiga förhållanden är försaltning inte ett problem.

För att man skall kunna säkra jordmånens funktion och stoppa försämringen av egenskaperna har EU-kommissionen haft som målsättning att få till stånd ett ramdirektiv för skydd av jordmånens. Kommissionen har också gett ett direktivförslag hösten 2006. I förslaget behandlades de kemiskt-fysikaliska faktorer som är ett hot mot jordmånens funktion men den biologiska mångfalden var utanför förslaget. Behandlingen av förslaget pågår fortfarande eftersom flera länder motsätter sig det. Motsättningen uppkommer av kravet på istandsättning av gamla förorenade markområden som finns i direktivutkastet och de istandsättningskostnader som sannolikt förorsakas staterna.

Jordens beståndsdelar

Jordens fasta substans består av silikatmineraler som härstammar från berggrunden och organogen d.v.s. organisk substans som bildats från resterna av döda växter och djur. Jorden innehåller också oxider av aluminium, järn, mangan och titan samt karbonater som i huvudsak förekommer i länder med torra regioner.

Finlands jordmån är yngre än 10 000 år. Mineralsubstansen i vår jordmån härstammar från urberget som inlandsisen har krossat och finfördelat. Det lösa materialet som bildades innehöll substans av olika storlek från stora stenblock

till små partiklar som inte kan urskiljas med blotta ögat. Jordens mineralsubstans består i huvudsak av silikatmineraler såsom kvarts, olika fältspat och glimmer som är de dominerande mineralerna i vår berggrunds vanligaste bergarter granit och gnejs.

Mineralsubstansen i jorden fördelas i olika fraktioner enligt partikelstorleken (tabell 3.1). En viss kornfraktions partiklar representerar alla samma storleksklass som fraktionens namn uttrycker. I den här fördelningen som utvecklades av den svenska geologen och kemisten Albert Atterberg fördelas substans som är mindre än 2 mm i fyra huvudklasser: ler – mjäla – mo – sand. Den geotekniska klassificeringen (GEO) för sin del använder en uppdelning på tre: lera – silt – sand, i vilken silt består av RT-klassificeringens mjäla och fin mo. I jord- och skogsbruket använder man RT-klassificeringen.

Tabell 3.1 Fördelning av jordens mineralsubstans enligt fraktioner som bestäms på basis av partikelstorlek i den byggnadstekniska klassificeringen (RT-klassificering).

Kornfraktion	Partikelstorlek, mm	Förkortning
Lera	under 0,002	L
Mjäla	0,002–0,02	Mj
Fin mo	0,02–0,06	FMo
Grov mo	0,06–0,2	GMo
Fin sand	0,2–0,6	FSa
Grov sand	0,6–2	GSa
Grus	2–20	Gr
Sten	20–200	St
Block	över 200	Bl

Det kol som finns i organogen substans är bundet av assimilerande organismer. Markfaunan och mikroberna i jorden använder färsk organogen substans såsom rötter som blir kvar i marken, spannmålsstubb, halm, löv som faller ner och annan förna som källor till energi och ämnen som behövs till livsfunktionerna. När organismerna andas frigörs en del av kolet från den döda organogena substansen tillbaka till atmosfären som koldioxid (CO_2), och en del jordens levande organismer utnyttjar det som byggnadsmaterial. Från färsk organogen substans frigörs också ämnen såsom kväve (N), fosfor (P) och svavel (S) ifall det finns mera av dem än vad de nedbrytande organismerna behöver. Allt flera nya generationer av organismer utnyttjar den organogena substans som tidigare generationer lämnat efter sig. Den här processen kallas förmultning dvs. humifiering, och när den framskrider blir den organogena substansen allt mer stabil. Organogen substans med långt framskriden förmultning kallas humus. Organogen substans som befinner i början av förmultningen omfattas alltså inte av humus-begreppet. Största delen av humusen är bunden till jordens mineralsubstans.

Ju mera organogen substans jorden innehåller, desto mullhaltigare sägs den vara. Jordens mullhalt påverkar väsentligt markens kulturtillstånd. Mullhalten ökar särskilt jordens vattenbindande förmåga och luckerhet, och i mullhaltig jord finns det vanligtvis av naturen mera växttillgänglig kväve än i mullfattig jord. I systemet som används i Finland delas jordarna upp enligt halten organogen substans i bördighetsklasser såsom i tabell 3.2.

Tabell 3.2 Bördighetsklassificering för jordarter som används i Finland.

Halten organiskt material i matjordslagret	Benämning	Förkortning
under 3 %	mullfattig	mf
3–5,9 %	mullhaltig	mh
6–11,9 %	mullrik	mr
12–19,9 %	mycket mullrik	mmr
20–40 %	mull	M
över 40 %	torv	t.ex. starttorv, Ct

Vittring av mineraler betyder finfördelning av deras struktur samt de därpå följande kemiska förändringarna. Vittring förorsakas bl.a. av temperaturväxlingar samt av vattnets och de vattenlösliga syrnas upplösande effekt. Metaller såsom järn, aluminium och mangan som finns i mineralernas strukturer kommer åt att frigöras som en följd av vittringen. Metallerne blir inte kvar i vätskan omkring partiklarna utan fälls för det mesta ut som hydroxider eller oxider. Utfällning av järn syns i jorden som allmänt observerbara bruna rostfläckar. Manganutfällning är svartgrå och aluminiumutfällning är färglös. Trots att det i vanliga fall endast finns en par procent av de här oxiderna i jordens massa, är de en viktig, kemiskt aktiv beståndsdel. De är t.ex. den viktigaste fosforbindande komponenten i jorden.

Karbonatmineralerna är viktiga beståndsdelar i jorden. De är vanliga i basisk jordmån i torra områden såsom i länderna i Mellanöstern, Syd-europa och på omfattande områden i USA. De viktigaste karbonatmineralerna är kalcit CaCO_3 och dolomit $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. I Finlands berggrund finns det också en viss mån av kalk-



Bild 3.1 Rost i grov mo i Maaninka på ca 80 cm:s djup. Sådana utfällningar bildas speciellt omkring gamla rotkanaler. Längs med rotkanalerna kommer det syre från atmosfären till alven varvid järn som finns upplöst i våt jord utfälls i form av brun järnhydroxid.

stensförekomster, men i vår sura jordmån finns de inte, förutom efter spridning av jordbrukskalk.

Specifik yta och katjonbyteskapacitet

Det finns skillnader i fraktionernas mineralsammansättning. Partiklarna i grova fraktioner med början från mjåla består i huvudsak av kvarts och fältspat. Där- emot innehåller lerfraktion lermineraller. De är skivliknande s.k. phyllosilikater av vilka de viktigaste i Finland är och vermikulit som uppkommit som följd av vittring av glimmer. I grövre lerfraktion (0,0002 – 0,002 mm) finns också i viss mån finmald kvarts och fältspat men fin lera (storlek under 0,0002 mm) består i huvudsak av lermineraller.

Ju mindre partiklar mineraljordsubstansen består av, desto större är den specifika ytan i jordsubstansen per viktenhet. Lera består av partiklar mindre än 0,002 mm och dess specifika yta är väl mer än 100 m²/g. Den specifika ytan för sandkorn är för sin del endast under 0,1 m²/g. Den specifika ytan för jordens organiska substans kan vara t.o.m. 900 m²/g. När den specifika ytan ökar, förbättras jordsubstansens förmåga att binda till sig vatten och andra ämnen. På basis av de ovan presenterade värdena är det lätt att förstå att halten organisk substans har speciellt stor betydelse, särskilt för grovkorniga jordars förmåga att binda vatten och andra ämnen.

Lera och jordens organiska substans har vanligtvis en negativ elektrisk laddning. För lera som förekommer i Finland är den elektriska laddningen i huvudsak oberoende av pH, och laddningens storlek t.ex. för illit är typiskt 10-40 cmol(+)/kg. Den elektriska laddningen för jordens organiska substans är betydligt högre: 60-360 cmol(+)/kg och dess storlek är beroende av pH. När pH i jorden stiger, ökar den organiska substansens negativa laddning, när en allt större andel av karboxylgrupperna dissocieras enligt följande:



Storleken på den negativa laddningen minskar därför när jorden försuras och ökar när pH stiger. Till de negativt laddade ställena har positivt laddade joner bundit sig, typiska är Ca²⁺, Mg²⁺ och K⁺, i mycket sura jordar också Al³⁺ och i jordar vid havsstränder Na⁺. Storleken på den negativa laddningen kallas jordens katjonbyteskapacitet (KBK), och den är en av de viktigaste storheter som uttrycker jordens kemiska kulturtillstånd. I jord som består av grova fraktioner bestäms storleken på KBK i hög grad enligt den organiska substansens halt eftersom KBK för t.ex. grov mofraktion endast är 1-3 cmol(+)/kg. Jordens järn- och aluminiumoxider har i sura förhållanden en aning positiv elektrisk laddning till vilken negativa joner såsom sulfat och nitrat kan binda sig. Mängden positiv laddning i jorden är ändå mycket mindre.

Minskningen av organisk substans i jorden

I de finska mineraljordarnas bearbetningsskikt finns det typiskt 4-7 % organisk substans. Jordarna är alltså för det mesta mullhaltiga eller mullrika. Minskningen av organisk substans i jorden är ett på EU-nivå identifierat hot gällande jordmånen och en betydande förändring som sker i jordmånen. De skadliga följderna av minskad organisk substans i jorden syns alltså såväl i jordbruket som i form av en växande miljöbelastning. När halten av organisk substans minskar blir jordens bearbetbarhet mindre, förmågan att bibehålla vatten och näringsämnen försämras och benägenheten för erosion ökar. Den organiska substansen oxideras biologiskt till koldioxid när organismer använder kolföreningar till sina livsfunktioner. Minskningen av halten organisk substans betyder alltså ett ökande koldioxidflöde från marken till atmosfären. Det här har blivit föremål för diskussion speciellt i samband med organogena jordar eftersom mängden koldioxid som frigörs från organogena jordar är t.o.m. 88 % av totala mängden som frigörs från jordbruksjorden. Detta trots att andelen organogena jordar endast är ca 10 % av åkerarealen. Avvattnings av naturligt våta organogena jordar befrämjar den organiska substansens nedbrytning vilket är en orsak till att röjning av nya kärr till odlingsmark har kritiserats. Ny åker har behövts på nötkreatursdominerade områden för att trygga spridningsareal för stallgödsel.

I Naturresursinstitutets (Luke) uppföljningsprojekt om odlingsjordens kondition undersöktes utvecklingen av halten organisk substans i jorden från år 1974 till 2009. Prover togs också åren 1987 och 1998. Enligt resultaten minskade kolmängden i de odlade mineraljordarnas ytskikt (0-15 cm) årligen med 220 kg/ha (organisk substans 380 kg/ha). Under hela den 35-åriga perioden har jordens kollager alltså i genomsnitt minskat med 7700 kg/ha, vilket i olika mineraljordartsgrupper betyder en minskning på 11-19 %. Minskningen av halten organisk substans beror på att mera organisk substans i marken nedbryts än vad ny organisk substans kommer till t.ex. i form av växtavfall. För spannmålsväxter är mängden rotsystem typiskt 1500-2500 kg/ha, vallväxter har rikligare rotsystem och t.ex. rybs har mindre. Man antar att den observerade utvecklingen delvis beror på att arealen fleråriga växter, speciellt vallar, har minskat. Den minskning av organisk substans som Luke har observerat syns inte i sammandragen av Markkarteringstjänst Ab:s jordanalysresultat, utan i dem har mineraljordarna med tiden överförts till mullhaltigare klasser än tidigare. När andelen mullrika jordar år 1961-70 var 28 % av mineraljordsproverna, var andelen t.o.m. 56 % åren 2011-15. Delvis kan detta förklaras av att andelen mull- och torvjordar med tiden har minskat, och när de förändras till mineraljordar placerar de sig sannolikt i de mullrikaste klasserna. I det här avseendet har jordmånen ändrat rätt snabbt.



Bild 3.2 Odlingslandskap i Egentliga Finland vid Uskelanjoki i Pertteli på våren. Den harvade brungråa åkern är lerjord. Ån har bildat sin fåra igenom en tjock lerbädd ända till bottenmoränen vilket är synligt av stenblocken som sticker upp från åbotten.

Jordarterna

Jordarternas namn liknar mineraljordsfraktionernas benämningar. T.ex. i mojord (jordart) finns det rikligt med fraktionen mo, men den innehåller också partiklar av annan storlek t.ex. lera och sand. Jordens sammansättning av kornfraktioner d.v.s. textur beskriver vilka mängdförhållanden de olika fraktionerna har i marken.

I Finland använder man som benämningsgrund för jordarterna 1) halten organisk substans (mullhalt), 2) mineraljordarnas sorteringsgrad och 3) fraktions-sammansättningen. Mineraljordar innehåller mindre än 20 % organisk substans. Osorterade mineraljordar som alltså kan innehålla alla kornfraktioner kallas morän. Det här huvudnamnet för jordarten kompletteras för det mesta med den dominerande fraktionens namn, t.ex. mjälmorän, MjMr. Sorterade mineraljordar innehåller också många olika kornfraktioner och jordartens namn bestäms enligt den dominerande fraktionen. Organogena jordar innehåller minst 20 % organisk substans. Trots att jorden i extrema fall skulle bestå av 20 % organisk substans och 80 % mineralsubstans, anses jorden vara organogen. Den organiska substansens betydelse när jordarten benämns beskriver den här substansens stora inverkan på jordens egenskaper.



Bild 3.3 Mjäljord i Juupajoki i början av juni. Den nyligen sådda mjälåkern som håller på att skjuta brodd lyser ljusgrå i omgivningen. Det är enkelt att identifiera jordarten för en sådan åker.

Sammansättningen av kornfraktioner är vanligtvis en permanent egenskap för jorden ifall man inte med avsikt har ändrat den med jordförbättringsmedel eller djupplöjning, men halten organisk substans i jorden kan variera med tiden. De olika jordarternas förekomst varierar och inverkar på valet av odlingsgröda i olika delar av Finland, utöver klimatomständigheter.

Lerjordar innehåller mer än 30 % av lerfraktion. Andelen grövre substans kan alltså vara t.o.m. 70 % och jorden kallas ändå lerjord. För de mera finfördelade fraktioner använder man benämningen lera, men en jordart som innehåller rikligt av den här fraktionen, är lerjord. I vått tillstånd är lerjordar sega och formbara, som torra är de hårda och spricker lätt. De innehåller av naturen mycket kalium och magnesium och har den största katjonbyteskapaciteten av våra mineraljordar. Lerjordar är vanligtvis brungråa till färgen (Bild 3.2). De är tunga att bearbeta och är endast under en kort tid lämpligt fuktiga för att bearbetas. Tung åkertrafik kan packa våt lerjord i skadlig grad. Lerjordarnas förmåga att binda vatten är hög men en betydlig del av vattnet är så kraftigt bundet till marken att växterna inte kan utnyttja det. Tjälens på vintern smular jorden. Om vintrarna blir mildare försvåras lerjordarnas bearbetning.

Lerjordar finns det enligt Eurofins Markkarteringstjänst Ab:s statistik 30 % åren 2011-2015 av de analyserade jordproverna. De mest lerjordsdominerade områdena finns i sydvästra Finland och Nyland. T.ex. i Loimaa var leråkrarnas andel 79 % och i Mäntsälä 77 %. I styvlera (SL) är lerhalten mer än 60 %. Sådana jordar är mycket sällsynta i åkrarnas bearbetningsskikt men djupare i marken är SL en vanlig jordart i lerdominerade områden. Mellanlera (ML) som utöver lerfraktionen innehåller en betydlig mängd mo och mjåla är vår vanligaste lerjord. Förutom den är molera (MoL) och mjållera (MjL) vanliga och gyttjelera (GL) förekommer också.

Mjåla (Mj) är mycket ljus i torrt tillstånd, och om de inte har växttåcke ur-skiljer de sig väl i omgivningen (Bild 3.3). Jord som innehåller en stor fraktion mjåla påminner om dammande potatismjål. Mjåljord fastnar i händerna när man känner på den. Mjåla har vanligtvis dålig struktur. Därför kan regn under senvåren och försommaren slamma upp mjåljordens yta och när marken torkar på nytt kan det bildas en hård skorpa vilken spåd brodd eller plantor inte kan trånga igenom. Mjålor är tåta och hårda när de torkar. Mjålor nas näringshalt är medelmåttig men speciellt mullfattiga mjålor är svåra att odla och lämpar sig bäst för vallproduktion.

Mjåla (5 % av åkerarealen) förekommer speciellt i Birkaland, Mellersta Finland och i de nordligaste kommunerna av Norra Karelen. Mjåljordsdominerade kommuner är t.ex. Orivesi där 66 % av proverna som Eurofins Markkarteringstjänst Ab analyserade åren 2011-2015 var mjåla, och Valtimo (47 %). I Egentliga Finland finns det däremot inte i praktiken några mjålåkrar alls.

Mojord (Mo) delas upp i fin mo (FMo) och grov mo (GMo). Mojordar är lätta att bearbeta. FMo-jordar innehåller också ofta rätt rikligt med finare fraktioner och deras näringshalt är minst medelmåttig. Vattnets kapillära stigning från djupare skikt av marken är också snabb. Speciellt FMo-jordar hör till våra bästa odlingsjordar. GMo-jordar innehåller betydligt mindre näringsämnen eftersom de ofta är mycket sorterade och endast innehåller litet av finare fraktioner. Mojordar (17 %) förekommer i praktiken överallt i Finland och mojordsåkrar finns också på lerjordsdominerade områden.

Sandjordar (Sa) används endast litet i odling (1 % av analyserade prover) eftersom de är dåliga att binda näringsämnen och vatten och därför är känsliga för torka. Fin sand (FSa) kan lämpa sig för odling ifall alven är mera finfördelad eller det är möjligt att ordna med bevattning. Grova sandjordar (GSa) är vanligtvis alltför karga för jordbruk.

Låttlera (LL) innehåller rätt lika stora andelar mjåla och mo, och ofta innehåller de också måttligt med lera. LL-jordens egenskaper påminner om mjåla eller fin mo beroende på vilken som är den dominerande fraktionen. Andelen åkrar med låttlera är ca 8 %. Låttlera har inte alltid funnits i användning som jordartsbenämning, tidigare har de här jordarna klassificerats antingen som (fin) mo eller mjåla.

Av morån (Mr) som används i jordbruk är den klart största andelen momorån (MoMr); sandmorån (SaMr) och mjålmorån (MjMr) är betydligt ovanligare. MoMr-jordar är ofta bra odlingsjordar och påminner till egenskaperna om mo-jord. Nationellt har andelen morånjordar i de jordprover som Eurofins Markkarteringstjänst Ab analyserat åren 2011-2015 varit 29 %. Morån är de vanligaste odlingsjordarna i Sydsavolax där de har uppgjort 75 % av proverna. Också i Kajaland har deras andelar varit 46 % och i Mellersta Finland 36 %. På områden med moråndominerade odlingsjordar ser man ofta stenmurar till vilka stenarna har samlats från åkrarna. De stenigaste morånjordarna har man låtit bli skog.

Organogena jordar innehåller mer än 20 % organisk substans. I mulljord (M) är halten organisk substans 20-40 % och i torvjordar (T) mer än 40 %. Organogena odlingsjordar innehåller ett avsevärt kollager och därför nämns de här jordarna

ofta också i diskussion om klimatförändringen. När organogena jordar börjar odlas och bearbetas leder det till att den organiska substansen oxideras till koldioxid. I Finland har man bedömt att det från odlade torvjordar frigörs ca 4000 kg/ha kol till atmosfären per år. Torvens förbrukning är också ett bekant fenomen och en del av jordmånens förändring. Odlade torvjordar kan först förändras till mulljordar och när den organiska substansen minskar kan mulljordar till slut klassificeras i gruppen mineraljordar. Åren 1955-1970 representerade t.o.m. 28 % av jordproverna som skickades för markkarteringsanalys mull- och torvjordar, när deras andel i Eurofins Markkarteringstjänst Ab:s statistik åren 2011-2015 var endast 8 %. Delvis beror den betydande minskningen av de här jordarnas andelar på den organiska substansens nedbrytning, men organogena jordar har också helt och hållet fallit bort från lantbruksanvändning. Lokalt finns det ännu rikligt med organogena jordar i odling. På ProAgria Lapplands område har de uppjort 29 % av proverna och deras andel har varit minst 20 % i hela Österbotten där man har röjt nya organogena jordar för odlingsanvändning. I Kuusamo torde andelen organogena odlingsjordar vara störst på kommunnivå, 45 %.

Mulljord (M) är en på odlingsmarker förekommande yttjordart som för det mesta har bildats så att sumpmark med tunt torvlager har tagits i odlingsanvändning. Till det tunna torvskiktet har blandats mineraljord underifrån varvid halten av organisk substans har minskat. Ibland har mulljord kunnat bildas så att man kört ut mineraljord på torvjord i jordförbättringssyfte. Mulljordarna är Finlands mest heterogena jordart eftersom alven kan variera från sand till lera eller t.o.m. torv. Leriga mulljordar är bördigare än de vars alv består av grov mineraljord. Den sämsta bördigheten har de mulljordar där alven består av torv. Ofta är mulljordarna ändå rätt näringsrika och de är lätta att bearbeta. De hör till våra bästa odlingsjordar.

Torvjordarnas huvudtyper är starrtorv (Ct) och vitmosstorv (St). Torvskiktet har i huvudsak bildats av rester av kärrväxter. Skogsstarrtorv (LCt) och skogsvitmosstorv (LSt) innehåller urskiljbara mängder träsubstans eftersom torven har bildats när skogsmark försumpats. Torvjordar binder mycket vatten och värms därför upp långsamt på våren. I många Ct-jordar speciellt i södra Finland frigörs rikligt med kväve som är användbart för växter under växtperioden. Också torvjordarna är varierande till egenskaperna delvis enligt vilka växter torven har bildats av och delvis enligt torvskiktets tjocklek. Tjock vitmosstorv är de magraste av torvjordarna.

Jordartens benämning kan preciseras genom att utöver den egentliga jordarten uttrycka vilka andra av dess mineralfraktioner som påverkar jordens egenskaper. Vanligast är att uttrycka lerhalten när den är 15-30 %, t.ex. lerig mulljord, lM. På så sätt kan man uttrycka mulljordens egenskaper mycket noggrannare än endast med jordartens huvudbenämning. Grusig grov mo, grGMo och lerig grov mo, lGMo, är exempel på jordarter vars huvudbenämning (GMo) är samma men som ändå är väldigt olika jordar till egenskaperna. Vid rådgivande jordanalys dvs. markkartering uttrycks förutom jordartens benämning också mullhalten med hjälp av indelningen i tabell 3.2.

Markens struktur och vattenhushållning

Jorden består av fasta partiklar och porutrymme mellan partiklarna som antingen är fylld med luft eller vatten. Enskilda partiklar förekommer inte vanligtvis fristående i marken utan är på olika sätt packade i kontakt med varandra. Med markstruktur avses partiklarnas grupperingar och de porutrymmen dessa bildar, eller mer generellt den tredimensionella volymfördelningen av jordens fasta partiklar och porutrymme samt hur de är sammanbundna med varandra. Jordarten inverkar på strukturbildningen men också inom samma jordart kan strukturen variera kraftigt. Markstrukturen har en viktig funktionell betydelse eftersom kemiska reaktioner i huvudsak sker i vattenfyllda porer och på ytan av fast substans och på grund av att porsystemet är rötternas och markorganismernas tillväxtmiljö och möjliggör att ämnena kan röra sig i jorden. Näringsjoner och andra lösliga ämnen rör sig i porer fyllda av vatten, när däremot syre och andra gaser rör sig snabbare i luftfyllda porer. Markstrukturen påverkar också mängden och kvaliteten på kontakten mellan partiklar och på sätt också jordens hållfasthet. Markstrukturen och förändringar i den påverkar alltså i väsentlig grad allt som händer i jorden.

Markstrukturen kan klassificeras i tre huvudtyper:

- 1) I enkelkornstruktur urskiljer sig partiklarna tydligt och de är inte bundna till varandra (t.ex. sand).
- 2) I massiv struktur är partiklarna bundna till varandra men enskilda partiklar eller strukturella egenskaper kan inte upptäckas genom sensorisk bedömning (t.ex. tät lera).
- 3) I aggregatstruktur är jordpartiklarna bundna till varandra i större grupperingar dvs. aggregat. De här kan klassificeras ännu noggrannare enligt storlek och form (bl.a. skarpkantade och avrundade gryn och klumpar, skivor, kilar, prismor, pelare). I jord med aggregatstruktur är porstorleksfördelningen differentierad till makroporsystem mellan aggregaten och mikroporsystem inne i aggregaten. I alla huvudtyper av markstruktur kan det dessutom i varierande mängd förekomma stora bioporer som växternas rötter och grävande djur producerat.

Med tanke på markens funktion är egenskaperna för porsystemet mellan och inne i aggregaten viktigare än aggregatens storlek och form i sig. Porernas storlek och mängd påverkar speciellt hur kraftigt och hur mycket vatten marken kan binda. Stora porer (diameter $> 30 \mu\text{m}$) binder vatten så svagt att vattnet avlägsnas från dem p.g.a. tyngdkraften. Fuktighetstillstånd i jorden vid vilken det fria vattnet genom tyngdkraftens inverkan har avlägsnats från markens stora porer kallas fältkapacitet och luftförhållandet (luftfyllda porernas volymandel) vid fältkapacitet kallas luftkapacitet. När endast mycket små porer ($< 0,2 \mu\text{m}$) innehåller vatten, har vattnet bundits i jorden så kraftigt att det inte är tillgängligt för växterna. Då visnar växterna permanent och marken sägs ha torkat till nedvissningsgränsen.

Markens strukturbildning

De viktigaste strukturbildande processerna i marken är flockulering, torksprickning, tjälen, rötternas och svampmycelens tillväxt samt maskarnas verksamhet. I finfördelade jordar är flockulering dvs. kolloida primärpartiklarnas svaga bindning till varandra grundförutsättningen för strukturbildning vilket markvätskans höga saltkoncentration och flervärda katjoner befrämjar. Markens torksprickning och tjälens smulande effekt är betydande aggregatbildande processer i leriga mineraljordar och egentliga lerjordar. Krympning som förorsakas av att marken torkar ökar aggregatens interna täthet och hållfasthet, och sprickbildning skapar stora sekundära porer mellan aggregaten. På grova jordar är torksprickningens och tjälens betydelse obetydlig men de innehåller mycket stora primära porer pga. att partiklarna är stora. Rötternas tillväxt samt maskar och andra grävande djur för med sig organiskt material i marken samt tätar och förstärker den omgivande jorden. Växternas gamla rotkanaler och de gångar som maskarna grävt kan bilda kontinuerliga nätverk av stora bioporer såväl i grova som i finfördelade jordar. De naturliga strukturbildande processerna i marken binder organisk substans till markens övriga beståndsdelar, vilket skyddar mot mikrobiologisk sönderdelning och erbjuder ett sätt att öka bindning av kol i marken.

De viktigaste beståndsdelarna för markens strukturbildning är lera, organiskt material, seskvioxider (järn- och aluminiumoxider) och flervärda katjoner (såsom Ca^{2+}). Uppkomst av aggregatstruktur förutsätter tillräcklig lerhalt (vanligtvis > 15 %) och mullhalt. Redan en liten halt organiskt material i jorden räcker till för att bilda i aggregaten en intern struktur där stora makroaggregat består av mindre mikroaggregat. Lera, organiskt material samt järn- och aluminiumoxider avlagras dessutom ofta mellan och på ytan av aggregaten och partiklarna som en tunn film vilket förstärker markstrukturen. Grova jordarter har typiskt en enkelkornstruktur där rötter, svampmycel, organiska polymerer och oxider vanligtvis binder jordpartiklar till varandra i liten mängd.

Man kan sköta markstrukturen genom att befrämja strukturbildande åtgärder och undvika åtgärder som försämrar strukturen. Med odlingsåtgärderna kan man påverka de naturliga processerna indirekt (växelskifte, dikning, kalkning) eller direkt på markstrukturen (mekanisk bearbetning, jordförbättringsmedel, trampning). De indirekta metoderna är huvudsakliga. Man kan öka jordens mullhalt och strukturbildning mest effektivt genom att minska jordbearbetningen och odla fleråriga växter med rikligt rotsystem. Jordförbättringsmedel kan befrämja strukturbildning t.ex. genom att minska jordens surhet eller öka mängden flervärda katjoner (kalkning) och organiskt material (stallgödsel, kompost, biokol) i marken. Med mekanisk jordbearbetning kan man homogenisera jord med grov struktur eller luckra upp tät jord till fördel för grödans tillväxt. Det här blir ändå närmast första hjälp ifall man inte samtidigt utnyttjar naturens egna processer vid förbättring och upprätthållande av markstrukturen. Å andra sidan är inte de naturliga processerna i Finlands och Europas klimat ensamt tillräckliga för att korrigera strukturen på kraftigt tillpackad alv ens under flera årtionden (www.poseidon-nordic.dk).

Små porer och för växterna oanvändbart vatten vid nedvissningsgränsen finns det rikligt av i finfördelade ler- och torvjordar. Skillnaden mellan fältkapacitet och nedvissningsgränsen kallas växttillgängligt vatten: den beskriver mängden vatten i marken som är användbar för växterna. Den vattenmängd som de stora porerna innehåller är vanligtvis obetydlig och avlägsnas från jorden så snabbt att den inte hinner inverka på växternas tillgång till vatten.

Markstrukturen påverkar också den hastighet med vilken vatten och gas rör sig i jorden. Ju mera marken innehåller vattenfyllda porer och ju större de är, desto snabbare absorberas vattnet i jorden och infiltreras igenom marken. I vattenmättad jord bestäms vattenledningsförmågan (förflyttningshastigheten) speciellt av mängden stora makroporer ($> 300 \mu\text{m}$). Ju mera stora luftfyllda porer det finns i marken, desto snabbare kommer syre och andra gaser också åt att röra sig i marken. Syrebrist som beror på otillräcklig luftporositet begränsar, i våt och tät jord, rötternas tillväxt och ökar den mikrobiologiska denitrifikationen och pga. den förorsakade utsläppen av dikväveoxid (kraftig växthusgas) till atmosfären. I tät jord kan dessutom stort mekaniskt motstånd också begränsa rötternas tillväxt.

Kriterierna för bra markstruktur kan granskas t.ex. ur växtens, odlingens och miljöns synvinklar. Med tanke på växtens tillväxt är markstrukturen bra när den i rotskiktet innehåller stora förråd av vatten och näringsämnen som är användbara för växten och de andra fysikaliska jordmånsfaktorerna (mekaniskt motstånd, syretillförsel, temperatur) inte begränsar rötternas tillväxt. Ur odlingens synvinkel är bra markstruktur sådan som snabbt torkar till bearbetbart skick, det bär maskinerna och är lätt att bearbeta. Bra struktur ut miljöns synvinkel minskar jordmånens utsläpp av växthusgaser, erosion och utlakning av näringsämnen.

Vanligtvis är kriterierna för bra markstruktur i huvudsak mycket liknande oberoende av vilket perspektiv man väljer. De naturliga strukturbildningsprocesserna ökar luftighet, mikrobiologisk aktivitet, mineralisering, nitrifikation och rötternas tillväxt i marken. Rötternas effektiva upptagning av vatten och näringsämnen minskar risken för denitrifikation och utlakning av näringsämnen samtidigt som markens bearbetbarhet och bärförmåga förbättras. Det här befrämjar samtidigt såväl växtens tillväxt, odlingsbarheten som minskningen av miljöutsläpp. Alltid är det inte så. T.ex. dikning av torvmark kan förbättra deras struktur, kulturtillstånd och odlingsbarhet men samtidigt accelererar den organiska substansens nedbrytning och koldioxidutsläppen i atmosfären ökar. Sulfiders oxidering till svavelsyra i s.k. sura sulfatjordar är också till stor del en följd av den luftiga struktur som uppkommer av jordens upptorkning (<http://www.catermass.fi>).

Markstrukturen har inte ingått i den långtidsuppföljning av markkvaliteten som MTT/Luke påbörjade 1974, även om man har fäst allt mera uppmärksamhet vid markstrukturen redan fr.o.m. ända sedan 1980-talet. Mäkelä-Kurtto och Sippola (2002) tolkade att minskningen av kolhalten i jordmånen med 8 % och bulkdensitetens ökning med 5 % under åren 1987 – 1998 eventuellt berodde på nedbrytning av organisk substans och jordens tillpackning. Trots att långtidsdata fattades vet man att markstrukturen och vattenhushållningen är i nyckelposition vid minskning av jordbrukets vattendragsbelastning och deras eventuella verk-

ningsmekanismer är också välkända. Med många av grund- och tilläggsåtgärderna för jordbrukets miljöersättning har man strävat till att direkt eller indirekt påverka utvecklingen av markstrukturen: markkarteringsanalys med 5 års mellanrum, växttäckte vintertid eller effektiverat växttäckte, reducerad bearbetning, mångsidigare odling, extensiv vallproduktion och odling av fånggröda.

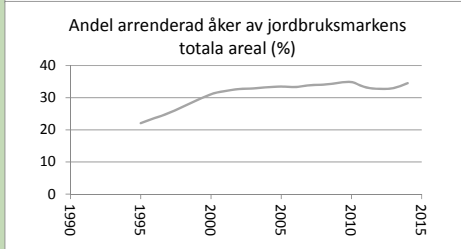
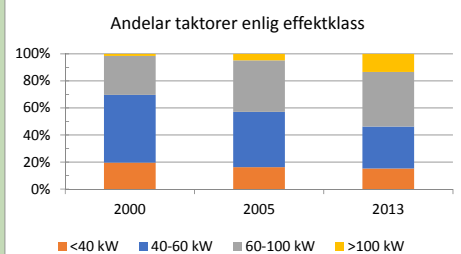
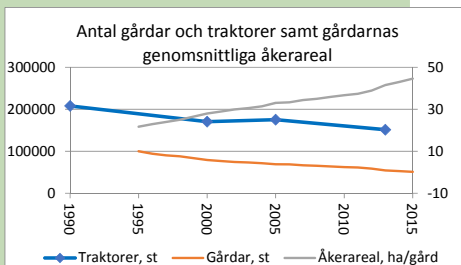
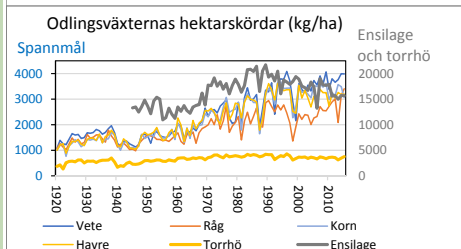
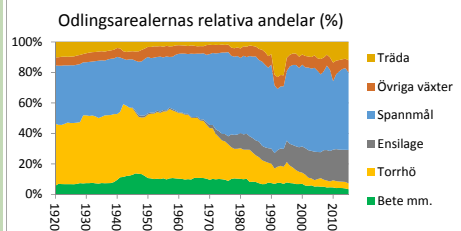
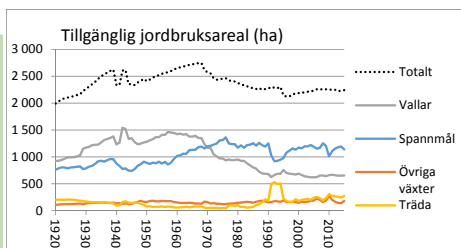
Minskad bearbetning och åkertrafik är i princip ett effektivt sätt att förbättra markstrukturen. Enligt Tike var andelen lättbearbetad areal år 2010 i Finland ca 28 % och andelen direktsådd areal 13 % av hela den sådda åkerarealen. Det blir hela tiden vanligare med att minska bearbetningen, speciellt eftersom man på så sätt kan spara stora mängder arbete och samtidigt förbättra markstrukturen. En tillverkare av direktsåmaskiner bedömde att direktsåddsarealen var t.o.m. 230 000 ha år 2015 (<http://www.vm-koneet.fi/se/>). I många försök har man med reducerad bearbetning eller direktsådd uppnått bra resultat vid vilka skördenivån har varit av samma klass som vid odling baserad på traditionell höstplöjning. Så är det ändå inte alltid. Om jorden redan från tidigare har en dålig struktur kan övergång till reducerad bearbetning eller direktsådd öka ytavrinning och markens blöthet samt minska alvens porositet. Då är problemets bakomliggande orsak ändå inte i den reducerade bearbetningen i sig. De naturliga processerna är då bara alltför långsamma eller ineffektiva för att korrigera markens strukturproblem som uppkommit tidigare. De har vanligtvis uppkommit vid odling som baserar sig på traditionell höstplöjning där yttjorden luckras upp genom årlig bearbetning och alvens övre del har alltid mer eller mindre tillpackats. Tillpackning av alven kan korrigera sig först efter flera årtionden eller t.o.m. vara permanent.

Bristen på variabler som beskriver markstrukturen i långtidsuppföljning av jordens kvalitet beror delvis på att mätning av markstrukturen är arbetsammare och svårare att automatisera än att utföra kemiska analyser. Markkartering har i Finland kommersiella traditioner redan från 1950-talet, men mätning av odlingsjordens struktur har inte gett upphov till en omfattande kommersiell verksamhet. Markkartering som utförs med regelbundna intervaller ingår i Finlands miljöersättningssystem men mångsidigare mätare för uppföljning av jordens kvalitet finns just inte tillgängliga. Det första seriösa försöket i Finland i den här riktningen är Peltomaan laatutesti (Åkerjordens kvalitetstest) (http://www.virtuaali.info/efarmer/peltomaan_laautesti/), av vilket man haft bra erfarenheter i utvecklingsprojekt om lantbrukets miljöskydd. Det att man har tagit med kvalitetstestets självbedömning i miljöersättningssystemet under perioden som började 2015 ökar odlarnas kännedom om den väsentliga betydelsen av jordens fysikaliska och biologiska egenskaper för markens kulturtillstånd vid sidan av den kemiska bördigheten, och eventuellt intresse för att mäta dessa (<http://www.mavi.fi/fi/oppaat-ja-lomakkeet/viljelija/Sivut/Ymp%C3%A4rist%C3%B6korvauksen-sitoumusehdot.aspx>).

Några utvecklingsförlopp för jordbruksproduktionen som påverkar markstrukturen i Finland

Jordbruksproduktionen i Finland är i förändring. Det mest oroväckande med tanke på odlingsmarkens struktur är behovet av effektivare och tyngre maskiner vilket är en följd av att antalet gårdar minskar och enhetsstorleken ökar. Allt detta ökar risken för tillpackning av jorden.

Samtidigt har det blivit vanligare att arrendera åkrar vilket kan minska grundförbättringar (dikning, kalkning) som upprätthåller markstrukturen. Produktionsinriktningarnas förändringar har inte i genomsnitt nämnvärt ändrat jordbrukets markanvändning efter 1970-talet. Arealen vallar som är nyttiga för jordstrukturen har förblivit oförändrad sedan 1990-talet, ensilagegets andel har däremot ökat och torrhöets andel minskat. Höga skördenivåer är önskvärda med tanke på markstrukturen eftersom grödornas kraftiga tillväxt ökar markens torksprickning och mullhalt. Med undantag för råg har spannmålsens hektarskördar mer än tredubblats jämfört med 1920-talet. Hektarskördarna av ensilage har minskat med jämn takt sedan början av 1990-talet. Behovet av större skördar i Finland pga. befolkningstillväxten i världen kommer inte att minska i en nära framtid. Klimatförändringen förväntas förbättra växtproduktionens förutsättningar på de nordliga breddgraderna, men mindre tjäle och ökade regn på våren och hösten höjer risken för tillpackning av åkerjorden.



Växtnäringsämnen

Till växtnäringsämnen räknas alla de grundämnen som är nödvändiga för växtens utveckling från frö ända till nytt grobart frö. Enligt nuvarande uppfattning finns det 17 st växtnäringsämnen. Makronäringsämnena (9 st), av vilka odlingsväxterna behöver mer än 10 kg/ha, är kol, väte, syre, kväve, fosfor, kalium, kalcium, magnesium och svavel. Mikronäringsämnena (8 st), av vilka det behövs mindre än 1 kg/ha, är koppar, zink, järn, mangan, bor, klor, molybden och nickel som bifogats sist till förteckningen. Svår brist på vilket växtnäringsämne som helst kan förhindra tillväxt. Eftersom växten har funktioner vid vilka det behövs precis något specifikt näringsämne, kan inte näringsämnena ersätta varandra utom vid några uppgifter av allmän karaktär. Det finns också andra ämnen som har konstaterats vara nyttiga för växterna men som inte uppfyller alla krav på definitionen av växtnäringsämne. Till de här hör åtminstone kisel, natrium och selen.

Växten tar upp kol från luften i form av koldioxid (CO_2) via klyvöppningar i de gröna delarna. Växter kan inte ta upp koldioxid med rötterna. Andra näringsämnen däremot kommer till växten nästan enbart från marken via rötterna. Det finns ett stort lager av alla växtnäringsämnen i marken, av vilka visserligen endast en liten del vanligtvis är i en sådan form som växterna kan utnyttja. Växterna kan få sin näring från de naturliga reserverna i jorden eller från gödselmedel. Konstgödsel är industriellt framställda näringskällor. I vårt samhälle finns det mycket olika näringshaltiga sidoflöden och möjligheterna att utnyttja dem har fått ökad uppmärksamhet. Av de här näringskällorna är stallgödsel överlägset den viktigaste. Till gödslingsändamål lämpar sig bl.a. slam från reningsverk, kompost och näringshaltiga biprodukter från industrin såsom aska samt kött- och benmjöl. Från alla de här gödselmedlen frigörs näringsämnen i en form som växterna kan utnyttja och näringsämnena deltar i reaktioner som händer i marken på ett sätt som ämnenas kemiska särprägel och markens egenskaper reglerar.

Under växtperioden finns det i Finland rikligt med ljus som växterna använder för att framställa kolhydrater av koldioxid och vatten. Temperaturförhållandena är också tämligen förmånliga, och vatten finns det för det mesta tillräckligt, många gånger t.o.m. för mycket. Trots att helhetsmängden av kväve i bearbetningsskiktet i vanlig mineraljord är ca 7 ton per hektar, är mängden kväve i marken som är användbar för växterna liten, och den är nästan utan undantag minimifaktorn för tillväxt i ogödslad jord. Utan kvävegödsling kan man vanligtvis få en skörd på 1-1,5 ton per hektar. Kvävets former som omedelbart är tillgängliga för växterna är ammonium (NH_4^+) och nitrat (NO_3^-). Ammoniumkväve frigörs som resultat av mikrobverksamhet från markens organiska substans och från organogena gödselmedel och i åkerjorden förvandlas den till nitratform. Speciellt vid ekologisk odling tillfredsställs odlingsväxternas kvävebehov, förutom med stallgödsel, också med hjälp av biologisk kvävefixering. *Rhizobium*-bakterierna som lever i baljväxternas rotknölar kan med hjälp av energin från värdväxternas kolhydrater binda kväve från atmosfären (N_2) till en form som växterna kan använda. Konstgödsel innehåller vanligtvis ammonium- och nitratkväve, och en

del av kvävet i organogena gödselmedel är också i de här oorganiska formerna. Ammoniumkväve binds till jordens katjonbytesplatser, men kväve i nitratform binds i praktiken inte till markens fasta substans utan är i löslig form i markens porvatten. Eftersom ammoniumkväve inte är beständigt i åkerjorden, kan det inte bildas ett lager av lösligt kväve i marken. Under vinterperioden sköljer vattnet bort det lösliga kvävet från markens porvatten.

I Finland såsom överallt på andra ställen finns det i jordmånen av naturen litet fosfor som är användbar för växterna. Därför har man medvetet ökat reserverna av lättlöslig fosfor i marken genom gödsling. Användningen av industriellt producerade fosforgödselmedel var störst från 1970-talet till medlet av 1990-talet, varefter användningen har minskat väsentligt. Konstgödsel innehåller fosfor i oorganisk fosfatform (H_2PO_4^-). En betydande del av stallgödsels fosfor är också

faktaruta

Kemiska tecken för näringsämnen, form i vilken växten upptar ämnet och viktigaste uppgifter i växten

Växtnäring och dess kemiska tecken	Upptagningsform	Viktigaste uppgifter i växterna
Makronäringsämnen		
Kol, C	CO_2	Beståndsdel för organiska föreningar
Väte, H	H_2O	Beståndsdel för vatten och organiska föreningar
Syre, O	CO_2 , H_2O , O_2	Andning, beståndsdel för organiska föreningar
Kväve, N	NH_4^+ , NO_3^-	Beståndsdel för proteiner
Fosfor, P	$\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$	DNA, energijämsomsättning (ATP-ADP)
Kalium, K	K^+	Vattenhushållning, enzymfunktion
Kalcium, Ca	Ca^{2+}	Cellväggs struktur
Magnesium, Mg	Mg^{2+}	Klorofyllens centralatom, enzymfunktion
Svavel, S	SO_4^{2-}	Beståndsdel för proteiner
Mikronäringsämnen		
Järn, Fe	Fe^{2+} , Fe^{3+}	Enzymfunktion
Mangan, Mn	Mn^{2+}	Enzymfunktion, spec. vattnets fotolys
Zink, Zn	Zn^{2+}	Enzymfunktion
Koppar, Cu	Cu^{2+}	Enzymfunktion
Nickel, Ni	Ni^{2+}	Enzymfunktion
Bor, B	H_3BO_3	Transport av socker, cellväggs struktur
Klor, Cl	Cl^-	Vattnets fotolys
Molybden, Mo	MoO_4^{2-}	Reduktion av nitrat

i den här formen och resten är i organiska fosforföreningar. I marken binds fosfor speciellt till järn- och aluminiumhydroxider och en mycket liten andel av fosfor som tillagts i marken förblir i lösform i porvattnet. I mark som aldrig gödslats binds fosfor kraftigt till de här hydroxiderna eftersom nästan alla platser som är tillgängliga för bindningar är lediga. Ju längre och rikligare fosforgödslingen fortsätter, desto fullare blir bindningsplatserna och också halten av fosfor som löst sig i porvattnet stiger. Gödslingsfosfor har alltså ackumulerats i marken och en del av den har förblivit användbar för växterna. Eftersom fosforreserverna i jorden har ökat och markens bördighet i det här avseendet blivit bättre, har skördeökningen man kan uppnå med fosforgödsling på motsvarande sätt minskat. Den minskade användningen av konstgödsel fosfor som fortsatt under ett par decennier har varit en betydande förändring i växtodlingen. Den genomsnittliga halten löslig fosfor i odlingsmarkerna har också börjat minska en aning under 2010-talet. För tillfället förs det livliga diskussioner om fosforgödslingen och huruvida den redan har blivit otillräcklig med tanke på växternas tillgång till fosfor.

De tre näringsämnen kalium, kväve och fosfor bildar en grupp som kallas huvudnäringsämnena. Benämningen beror på att det är (har varit) mest brist på de här i våra odlingsjordar och de har mest tillagts i gödselmedlen. Glimmermineraller innehåller mycket kalium och sådana mineraler finns det rikligt av speciellt i lerjordar. På lerjordar finns det därför vanligtvis rätt så rikliga tillgångar av kalium som är användbara för växterna. På grova mineraljordar och speciellt på torvjordar kan markens kaliumtillgångar avta, speciellt i intensiv vallodling vid vilken mängderna kalium som avlägsnas med skördarna lätt överskrider 200 kg/ha i året. Kalium binds i marken till de normala katjonbytesplatserna och till svårare utbytbar form mellan glimmermineralens skivliknande skikt - kalcium och magnesium är markens huvudsakliga katjoner och de binds i marken till katjonbytesplatser.

Markens organiska substans innehåller svavel vilken som resultat av mikrobverksamheten frigörs till växternas användning i sulfatform (SO_4^{2-}). I den här formen lagras inte svavel i jorden utan sulfat utlakas lätt bort. Tidigare var svavelnedfallet från luften en betydande svavelkälla också i Finland, men nedfallet har minskat kännbart under de senaste decennierna.

De metalliska mikronäringsämnena koppar och zink binds vanligtvis kraftigt i marken till järn- och aluminiumoxider och/eller till organisk substans. Järnets betydelse som växtnäringsämne är något man i Finland vanligtvis är medveten om endast i växthus, men på jordklotets torra och kalkhaltiga marker är odlingsväxternas järnbrist allmän. I våra åkermarker finns det mycket järnhydroxid i form av rostutfällning som är lätt synlig speciellt i jorden under bearbetningsskiktet. Mangan fälls också ut som oxider och hydroxider, och löser sig på samma sätt som järn i vattenmättade förhållanden.

Jordens markkarteringsanalys

Det jordprov som tas för rådgivande jordanalys dvs. markkarteringsanalys samlas ihop av delprover från arealen av ett basskifte. Provet tas från hela bearbetningsskiktets djup. Ett prov kan högst representera ett område på fem hektar. Ifall basskiftet är större måste man ta flera prover. I markkarteringsanalysen bestäms jordart, mullhalt och jordens pH. Grundanalysen omfattar dessutom bestämning av löslig fosfor (P), kalium (K), kalcium (Ca), magnesium (Mg) och svavel (S). De här näringsämnen extraheras från jorden med sur (pH 4,65) ammoniumacetatlösning som är en metod utvecklad för finska förhållanden. I lösningen löser sig endast en liten del av de ovan nämnda näringsämnena totala mängd, men avsikten med resultaten är att beskriva specifikt storleken på de andelar som är användbara för växterna. Analysresultaten tolkas i bördighetsklasser så att man för pH och varje analyserat näringsämne separat konstaterar vad resultatet betyder ur växtens synvinkel. Det finns sju bördighetsklasser: dålig, rätt dålig, försvarlig, tillfredsställande, god, hög och betänkligt hög. Observera att en viss åker kan t.ex. för fosfors del representera bördighetsklassen tillfredsställande och för kalium bördighetsklassen god. Markkarteringens resultat leder till kalknings- och gödslingsrekommendationer på så sätt att i de svagare klasserna är de rekommenderade kalknings- och gödslingsmängderna högre än i de klasser där pH är högre eller näringsämneshalten större. Hur analysresultaten tolkas i bördighetsklasser baserar sig mest på resultaten från fältförsök. Nuförtiden används odlingsplaneringsprogram för bestämning av rekommendationerna.

I markkarteringens grundanalys utförs inte kvävebestämning. Mullhalten ger ändå en grov uppfattning om storleken på jordens kvävereserver. Ju mullhaltigare jord, desto mera kväve antas frigöras från jorden under sommaren till växternas användning och därför minskar behovet av kvävegödsling när jordens mullhalt ökar. I markkarteringsanalysen bestäms t.ex. inte heller markens struktur eller biologiska kondition.

Beviljandet av jordbrukets miljöersättning förutsätter att markkarteringsanalys görs med minst fem års mellanrum. I reglerna för miljöersättningen anges kväve- och fosforgödslingens övre gränser på de gårdar som är med i miljöersättningssystemet. De maximala mängderna fosforgödsling bestäms framför allt på basis av odlingsväxten och markkarteringens resultat. Den maximala mängden kvävegödsling beror på odlingsväxten och markens mullhalt vilken också analyseras vid markkarteringen. Miljöersättningssystemet tar inte ställning till användningen av andra näringsämnen.

Markens surhet och kalkning

Våra odlingsjordar är av naturen sura, dvs. de innehåller rikligt med föreningar som friger vätejoner (H^+). Vår jordmån har i huvudsak bildats av sura bergarter. Organisk substans innehåller karboxylgrupper som friger vätejoner. Fuktigt

klimat, utlakning och växternas upptagning av katjoniska näringsämnen ökar surheten. Surt nedfall ökar också jordens surhet, men på odlingsjordar har den här faktorn en väldigt liten betydelse. Sur jord innehåller för växternas rötter giftig lösligt aluminium som vid högre pH faller ut som hydroxid och blir ofarlig. Fosfor binds kraftigt i sur jord. Ammoniumkväve ökar också jordens surhet eftersom det frigörs vätejoner i reaktionen när ammonium övergår till nitratform:



De finländska åkrarnas pH var på basis av markkarteringar åren 1955–60 i genomsnitt 5,5 och den har enligt Eurofins Markkarteringstjänst Ab:s färsk statistik stigit under perioden 2011–2015 till värdet pH 6,03. De organogena jordarnas pH 5,5 är betydligt lägre än mineraljordarnas pH-medeltal 6,1. De här är ännu under odlingsväxternas optimala värden som vanligtvis på organogena jordar är pH 6, på grova mineraljordar 6,5 och på lerjordar t.o.m. så hög som pH 7.

Åkrar ska kalkas med 5–10 års intervaller. För kalkning använder man vanligtvis kalciumkarbonat dvs. kalcitkalk CaCO_3 , eller dolomitkalk $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, varvid jorden också tillförs kalcium och magnesium som växterna behöver. Kalciumkarbonat reagerar i sur jord på följande sätt:



Vätejonerna binds alltså till vatten och det bildas också koldioxid. Den koldioxid som härstammar från kalkningen av odlingsmark beaktas också när man beräknar mängden växthusgaser som kommer från lantbruket. Mängden kalk som behövs varierar enligt jordart och mullhalt. För höjning av en halv pH-enhet behövs det kalk 6 t/ha på mullhaltig lerjord när man på mullhaltig mojord uppnår samma effekt med 3–4 t/ha.

Mera om ämnet:

EU 2002. Kohti maaperänsuojelun teemakohtaista strategiaa Komission tiedonanto neuvostolle, Euroopan parlamentille, talous- ja sosiaalikomitealle ja alueiden komitealle. KOM/2002/0179 lopullinen. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX%3A52002DC0179>

Paasonen-Kivekäs, M., Peltoma, R., Vakkilainen, P. & Äijö, H. (toim.). 2016. Maan vesi- ja ravinnetalous. Ojitus, kastelu ja ympäristö. 2. täydennetty painos. Salaojayhdistys ry. 488 s. <http://www.salaojayhdistys.fi/fi/2015/10/maan-vesi-ja-ravinnetalous-ojitus-kastelu-ja-ymparisto/>

Palojärvi, A., Myllys, M., Jauhiainen, L. & Alakukku, L. 2014. Maan rakenne ja viljavuus. Teoksessa Aakkula, J. & Leppänen, J. (toim.). Maatalouden ympäristötuen vaikuttavuuden seurantatutkimus (MYTVAS 3): loppuraportti. Maa- ja metsätalousministeriö 3/2014. s. 64–74. <http://mmm.fi/mytvas>.