

NURMEN FOSFORITALOUS

MMT Into Saarela, MTT, Ympäristön tutkimus, Maaperä ja ympäristö, into.saarela@mtt.fi

Hyväkasvuinen nurmihehtaari ottaa maasta fosforia kasvukauden kuluessa lähes 30 kiloa. Kymmenien vuosien aikana peltoihin kertynyt lannoitteiden ja lannan fosfori on parantanut peltojen viljavuutta ja kasvien fosforin saantia. Suurella osalla Suomen nurmista fosforilannoitus on kuitenkin edelleen tarpeen, kun tavoitteena on runsaiden ja laadukkaiden satojen kasvattaminen. Vesistöjen kuormittavan pintalevityksen vähentämiseksi kivennäismailla mahdollisimman suuri osa fosforista tulisi antaa välikasveille tai mullata maahan nurmea perustettaessa. Niukkafosforisten peltojen vanhoilla nurmilla kohtuullista varastolannoitusta on kuitenkin tarpeen täydentää levittämällä fosforipitoista lannoitetta nurmelle.

Fosforin esiintyminen ja biokemia

Maapallon kuorikerroksen keskimääräinen fosforipitoisuus on 0,12 %, joka vastaa noin 3000 kiloa fosforia hehtaarilla kivennäismaan kyntökerroksessa. Savimaiden luontaiset fosforivarat ovat lähes yhtä suuret, mutta karkeissa maissa fosforia on jonkin verran vähemmän ja eloperäisissä maissa huomattavasti vähemmän. Kivennäismaiden ruokamullan alkuperäisestä fosforista lähes puolet ja luonnontilaisten soiden fosforista suurin osa on orgaanisina yhdisteinä, jotka vapautuvat kasveille viileässä ilmastossa erittäin hitaasti. Nykyisin orgaanisen fosforin osuus pellon fosforivaroista on eloperäisissä maissa noin puolet ja kivennäismaissa runsas neljännes. Kohtalaisen heppoliukoista, alumiiniin ja rautaan pidättynyttä fosforia, joka voidaan uuttaa maasta liuottamalla itse maainesta ja josta fosforin biologinen saatavuus paljolti riippuu, on luonnontilaisissa kivennäismaissa parisataa kiloa ja turpeissa satakunta kiloa hehtaarilla. Pitkään vallinneen positiivisen fosforitaseen seurauksena tämä tärkeä fraktio on kasvanut moninkertaiseksi, kivennäismaissa keskimäärin vajaaseen tonniin hehtaaria kohti. Eloperäisillä mailla epäorgaanisen fosforin suhteellinen lisäys on vielä suurempi ja ulottuu syvemmälle, eikä rajoitu ruokamultaan kuten useimmilla kivennäismailla.

Fosfori (P) esiintyy maassa ja elollisessa luonnossa fosforihapon anioneina eli fosfaatti-ioneina, joissa fosforiatomi on neljän happiatomin (O) tai hydroksidiryhmän (OH, H = vety) muodostaman tetraedrin keskusatomina. Fosforihappo (H_3PO_4) esiintyy täysin dissosioituneena kiteisissä fosfaateissa, esimerkiksi kalsiumionien sekä fluoridi- hydroksiditai karbonaatti-ionien kanssa muodostuneessa apatiitissa, $Ca_5(PO_4)_3(F,OH,CO_3)$. Apatiitti on fosforin pääasiallinen muoto sekä peruskalliossa että selkärankaisissa eläimissä, joiden luissa sitä on runsaasti. Hammaskiille on jokseenkin puhdasta apatiittia ja sisältää fosforia noin 17 %. Happamissa vesiliuoksissa fosfaatti on pääasiassa $H_2PO_4^-$ -ioneina ja vahvasti emäksisissä liuoksissa HPO_4^{2-} -ioneina.

Fosfaattiryhmät ovat hyvin pysyviä sekä elottomassa että elollisessa luonnossa. Fosforiatomit eivät muodosta suoria sidoksia hiilen kanssa eivätkä pelkisty vety-yhdisteiksi, kuten typpi ja rikki tekevät. Fosfori osallistuu biokemiallisiin reaktioihin ja muodostaa orgaanisia yhdisteitä aina hapen välityksellä eli esterisidoksilla. Samojen fosfaattiryhmien liittyessä kahteen orgaaniseen molekyyliin muodostuu pitkiä, pysyviä ketjuja. Nukleiinihappoissa (DNA ja RNA) fosfaattiryhmät ja sokerimolekyylit muodostavat nauhan, johon geenien perinnöllistä tietoa tallentavat emäkset ovat liittyneet. Fosfaattiryhmät voivat tarttua myös toisiinsa ja muodostaa kolmois- eli trifosfaatteja (esim. adensiinitrifosfaatti, ATP) ja kaksois- eli difosfaatteja (esim. ADT). ATP ja ADP toimivat energian välittäjinä miltei kaikissa biokemiallisissa reaktioissa. Fosfaatti-ionit ja niiden yhdisteet osallistuvat lähtö- ja välituotteina lukuisiin orgaanisten aineiden biosynteesiin ja muuntumisprosesseihin. Fosfaattiryhmät ovat keskeisiä osia solun kalvojen ja muiden elinten hienorakenteissa. Epäorgaaninen fosfaatti säätelee solun nesteiden happamuutta. Kaikki maapallolla esiintyvä elämä perustuu fosforiin eikä olisi ilman sitä nykyisessä muodossaan mahdollista.

Kasvien fosforin tarve ja otto

Koska sekä kasvit että eläimet tarvitsevat fosforia suhteellisen runsaasti, se luetaan ns. makroravinteiden ja -kivennäisten ryhmään. Kun kasvi saa fosforia riittävästi lähes täyteen satoon mutta ei lainkaan enempää, sen fosforipitoisuus on viljelyn kannalta optimaalinen. Edullisin fosforimäärä muuttuu myös ajan mittaan. Niukkafosforisilla pelloilla lannoitustarve vähenee maan ravinnevarojen karttuessa, ja ajan mittaan kasvien ottamaa fosforia on korvattava myös runsasfosforisilla mailla, vaikkei välitöntä lannoitustarvetta olekaan. Säilörehuasteella korjatun nurmisadon kuiva-aineen optimaalinen fosforipitoisuus on noin 2,8 kiloa tonnissa (kg/tn = g/kg). Laidunasteella ruohon normaali fosforipitoisuus on korkeampi, noin 3,2 g/kg, ja heinäasteella matalampi eli noin 2,2 g/kg, mikä vastaa vanhaa tavoitetta 0,5 % fosforipentoksidia. Nuorena niitetyssä väkiheinässä fosforia saisi olla vähän enemmän. Kehitysasteesta riippumatta nurmiheinien optimaalinen typen ja fosforin suhde on noin kahdeksan. Molempia ravinteita tarvitaan paljon kasvupisteissä ja yhteyttävissä lehdistä, mutta ei juuri lainkaan kasvunsa lopettaneissa korsissa, jotka ovat maasta lehtiin virtaavan ravinneliuoksen kulkuväyliä.

Jos haihtumiskerroin on 400, yhtä haihdutettua vesilitraa kohti otetaan fosforia seitsemän milligrammaa, mikä on kymmeniä kertoja enemmän kuin suomalaisille kivennäismaille tyypillinen maanesteen fosforipitoisuus, 0,1–0,25 milligrammaa litrassa. Kasveista haihtuvan veden korvaamiseksi juuriin virtaava maaneste tuo siten vain pienen osan tarvittavasta fosforimäärästä. Laihassa maassa kasvavat kasvit voivat ottaa siitä fosforia jopa satoja kertoja enemmän kuin samaan vesimäärään huuhtoutuu sen vajotessa hitaasti maan läpi. Tätä ristiriitaa oli pitkään vaikea ymmärtää, mutta viimeisten vuosikymmenten kuluessa kasvien fosforin oton mekanismit on selvitetty tarkoin mittauksilla ja matemaattisilla malleilla.

Kasvien fosforin saanti laimeasta maanesteesta perustuu juurisolujen aktiiviseen fosfaatti-ionien ottoon ja kasveihin siirtyneen fosforin korvautumiseen kauempaa diffundoitumalla ja maahiukkasten pinnoilta vapautumalla. Fosforia juuriin kuljetavan diffuusion saa aikaan maanesteen fosforipitoisuuden lasku juuren pinnalla. Fosfaatti-ionien

kulkeutuminen pitoisuuden laskun suuntaan jatkuu, kunnes juuri lakkaa vanhetessaan ottamasta ravinteita tai maa tyhjenee, mikä on todennäköistä vain kasvuturpeella. Hyvin puskuroiduissa suomalaisissa maissa tehokas fosforin otto ulottuu juurista vain yhden tai kahden millimetrin säteelle. Saatavilla olevan fosforin määrä kasvaa juurten yhteispituiden mukana.

Juurisolukkoon kiinni kasvaneet sienirihmat eli juuret luovuttavat kasveille fosforia saamiaan hiiliyhdisteitä vastaan. Sienijuurten merkitys on suurempi nurmipalkokasveilla kuin tiheäjuurisilla heinillä, jotka ovat ilman siniäkin erittäin tehokkaita maan ravinnevarojen hyödyntäjiä. Kasvien ja mikrobien erittämät orgaaniset hapot voivat liuottaa kiteisiä fosfaatteja ja fosfataasientsyymit vapauttaa orgaanista fosforia. Useimpien kaksisirkkaisten kasvien tapaan apilat erittävät happoja enemmän kuin yksisirkkaiset vilja- ja heinäkasvit ja käyttävät veteen liukenematonta, hienoksi jauhettua kalsiumfosfaattia tehokkaammin. Juurten ja sienten erittämien yhdisteiden merkitys lienee lannoitetuilla pelloilla kuitenkin pienempi kuin luonnossa. Tähän viittaa mm. peltokasvien fosforin saannin kiinteä riippuvuus maan vesiliukoisesta fosforista.

Lannoitustarve selvitetty tutkimuksilla

Hyvin niukkafosforisilla pelloilla, kuten laihojen soiden uudisviljelmillä, ei saada juuri lainkaan satoa ilman fosforilannoitusta. Jos fosforista on paha puute, kylvetyt nurmikasvit syrjäytyvät nopeasti luonnonvaraisten heinien kuten nurmilauhan tai röllin ja muiden rikkakasvien tieltä. Tällöin satoa saadaan vähän ja sekin on heikkolaatuista. Seosnurmilla fosforilannoitus lisää heinien osuutta myös apilan kustannuksella, sillä palkokasvit viihtyvät kohtalaisen niukkafosforisillakin pelloilla, jos maa ei ole liian hapanta.

Nurmen fosforilannoitusta tutkittiin aikaisemmin lähinnä MTT:n johtamalla ja maaseutuneuvojen järjestämällä paikalliskokeilla. Viljavuustutkimus on kuulunut maatalouden koetoimintaan 1930-luvulta alkaen, mutta vasta 1980-luvulla MTT:n laitosten ja tutkimusasemien yhteistyönä tehtyjen monivuotisten kenttäkokeiden perusteella pelto- kasvien fosforilannoitus voitiin optimoida maan fosforiluokittain. 1980-luvulla laaditut nurmen fosforilannoitussuositukset ovat vähäisin tarkistuksin

edelleen käytössä ympäristötuen ehtojen tarkennetun lannoituksen muodossa. Merkittävä periaatteellinen muutos, joka vastaa yleistä kansainvälistä käytäntöä, oli runsasfosforisten maiden lannoituksesta luopuminen paljon alhaisemmalla maan helppoliukoisen fosforin tasolla kuin aikaisemmin.

Ylilannoitus kuormittaa kasveja ja vesistöjä

Maanesteen fosforipitoisuuksia selvittävien laboratoriotutkimusten perusteella arveluttavan korkean fosforipitoisuuden rajaa tarkistettiin 1990-luvulla ja sitä pienennettiin edelleen erityisesti eloperäisten maiden osalta. Nykyisetkin rajat ovat ehkä tarpeettoman korkeita sekä heikosti fosforia pidättävillä turpeilla että happamilla kivennäismailla. Viimeaikaiset suomalaiset ja kansainväliset tutkimukset ovat korostaneet runsasfosforisten maiden osuutta vesistöihin kulkeutuvan liukoisen fosforin lähteinä. Aktiivisena liukoisen fosforin huuhtoutumisen estämiskeinoina tulee kysymyksen runsasfosforisten peltojen tehokas kalkitus. Monivuotisilla nurmilla ja muilla muokkaamattomilla pelloilla saadaan hyvä vaikutus aikaan edullisesti huuhtoutumiselle alttiin pinnan käsittelyllä.

Pitkään ylilannoitetuilla pelloilla ja heikosti fosforia pidättävillä turvemailla jopa yhden levityksen jälkeen nurmikasvien fosforipitoisuus voi nousta paljon kasvien ja eläinten tarvetta suuremmaksi. Suomen olosuhteissa suurelta maahan mullatut fosforiannokset eivät helposti heikennä kasvien kasvua, mutta valmiita kasvustoja lannoitettaessa haittoja ilmenee yleisemmin. Nurmen pintalannoituksessa käytetyt, ammoniumfosfaattiin perustuvat väkevät lannoitteet ovat aggressiivisempia ja rasittavat kasveja enemmän kuin useimmissa lannoituskokeissa käytetty superfosfaatti. Herkimmin nurmen kasvu häiriintyy ensimmäisen vuoden keväällä, kun heinän oraat ovat hentoja ja matalajuurisia. Ympäristön suojelemiseksi sekä lannoitefosforin ja tuotteiden hintasuhteen muuttumisen takia suositeltua fosforilannoitustasoa on laskettu suunnilleen yhtä viljavuusluokkaa vastaavalla määrällä. 1990-luvun alussa laaditut suositukset olivat nurmen osalta jopa nykyisiä tarkennetun lannoituksen fosforimääriä pienempiä. Jokioisissa äskettäin saatujen koetulosten mukaan kunnolla kalkitulla savimaalla jonkin verran nykyisiä suosituksia

niukempikin fosforilannoitus riittää runsaisiin ja laadukkaisiin satoihin.

Ympäristötuen ehtojen mukainen lannoitus voidaan toteuttaa joko kasvikohtaisen perustason mukaisena lannoituksena tai maan viljavuustutkimukseen perustuvana tarkennettuna lannoituksena. Kasvikohtainen perustaso on säilörehunurmella 30 kiloa, laitumella ja yksivuotisilla nurmilla 20 kiloa sekä heinällä 15 kiloa fosforia hehtaarille, ja lisäksi suojaviljalle 25 kiloa normaalin 15 kilon sijasta. Kun maan viljavuusluokka on välttävä, nurmivuosien tarkennettu fosforilannoitus on sama kuin perustasolla, mutta suojaviljalle annetaan fosforia 45 kiloa hehtaaria kohti, joten suojaviljan ja kolmivuotisen nurmen vuotuinen fosforiannos on viisi kiloa perustasoa suurempi. Välttävissä maan fosforiluokassa pellon fosforitase on tarkennetulla lannoituksella ja kenttäkokeiden keskimääräisellä satotasolla selvästi positiivinen: lannoitus $45+30+30+30=135$ kg/ha, poistuma (sisältää oljet) $22+24+24+24=92$ kg/ha, ylijäämä 43 kg/ha. Maan fosforitilan parantua vuotuinen fosforimäärä pienenee kymmenen kiloa viljavuusluokkaa kohti ja huonontuessa vastaavasti kasvaa saman verran. Tyydyttävässä maan fosforiluokassa tarkennettu lannoitus vastaa aika tarkasti poistumaa.

Agroekologisesti optimoitu fosforilannoitus

Lannoituksen optimoinnissa on tavallisesti tavoitteena viljelyn taloudellisen tuloksen maksimointi ja kestävä viljely. Lannoitusvuonna vain pieneltä osin kasviin siirtyvän ja maan ravinnevaroja kartuttavan fosforilannoituksen optimimäärä jatkuvassa viljelyssä riippuu paitsi lannoitefosforin ja sadon hintasuhteesta myös pääoman korkovaatimuksesta. Aikaisemmin korostettu rehun fosforipitoisuuden suurentaminen eläimille riittävälle tasolle toteutuu ilman erillistä suunnittelua, kun tuotetaan hyvin sulavaa eli melko nuorena korjattua nurmirehua, jonka optimaalinen lannoitus nostaa sadon fosforipitoisuuden ruokintaan sopivalle tasolle. Lisäksi runsas väkirehun käyttö lisää lehmien fosforin saantia ja voi vähentää nurmifosforin merkitystä.

Jos tavoitteena on vesistöihin kulkeutuvan fosforimäärän vähentäminen, tulee välttää ennen muuta fosforin levittämistä tiiviin kivennäismaan pinnalle, jossa se on alttiina pintavalunnan huuhtelulle. Ensimmäisen nurmivuoden lannoitus onkin helppo

korvata kokonaan perustettaessa maahan mullatulla tai sijoitetulla fosforilla. Niukkafosforisilla mailla peruslannoitus tuottaa ensimmäisenä vuonna vähintään yhtä hyviä satoja kuin tasasuuruinen nurmen vuotuislannoitus. Perustettaessa levitetyn fosforin teho on kohtalainen vielä toisenakin nurmivuonna, mutta kolmantena nurmivuonna kohtuullinen peruslannoitus, noin sata kiloa fosforia hehtaarille, on jo heikkotehoinen. Toisen nurmivuoden keväällä on paikallaan antaa fosforia pieni starttilannoitus ja kolmantena vuonna täyteen satoon tarvitaan lähes normaali nurmen vuotuinen fosforimäärä. Kun nurmi kynnetään kolmantena vuonna ennen runsaita syyssateita, niiden ja kevään sulamisvesien huuhdottavaksi jää maan pinnalle levitettyä fosforia todella vähän eli vain toisen nurmivuoden pieni starttilannoitus.

Melko lieväkin maan happamuus haittaa enemmän maahan kertyneiden fosforivarojen ja peruslannoituksen hyödyntämistä kuin äskettäin levitetyn lannoitefosforin ottoa. Liian alhainen pellon pH-luku on haitannut fosforin ottoa ja heikentänyt viljavuustutkimuksen luotettavuutta myös vanhoissa koesarjoissa, joiden tuloksia laskettiin tietokoneella uudestaan. Kemiällisen analyysin mukaan runsasfosforisillakin pelloilla saadut sadonlisät ovat useimmiten liittyneet niiden liialliseen happamuteen, joka haittasi maan fosforivarojen saantia. Karkeiden kivennäismaiden fosfori on parhaiten nurmikasvien saatavilla maan pH-luokassa hyvä, ja savimailla fosforin saanti paranee aina emäksiseen reaktioon saakka.

Pitkällä tähtäyksellä nurmen pintalannoitusta voidaan vähentää myös niukkafosforisilla mailla parantamalla pellon fosforitilaa lannoituksella ja kalkituksella vähitellen. Viljavuustutkimuksen osoittama hyvä maan fosforiluokka ja kalkkitila nimittäin turvaa riittävän fosforin saannin useiksi vuosiksi ja jopa pitempään kuin tavanomaiset kolme tai neljä nurmivuotta. Nurmea uusittaessa ja

välikasveille kannattaa käyttää mahdollisimman paljon lantaa tai muita fosforilannoitteita. Lannan hyödyntäminen voi käytännössä edellyttää osittaista fosforin varastolannoitusta myös turvemilla, joilla vuotuislannoitus on kuitenkin ympäristön kannalta jopa parempi. Eräät laihat turvepellot, joille ei ole ajettu hienoa kivennäismaata, pidättävät nimittäin liukoista fosforia niin heikosti, että varastofosforia voi huuhtoutua maan läpi salaojiin. Lietelannan sijoittaminen nurmeen voi muuttaa fosforin agroekologisesti optimaalista jakamista nurmikierron eri vuosille.

Asiasanat: fosfori, huuhtoutuminen, kasvinravinteet, kivennäiset, lannoitus, pintalannoitus, viljavuus



Kuva. Fosforin saannin vaikutus puna-apilan alkukehitykseen. Fosforin puutteelle on tyypillistä kitulias kasvu ilman tunnistettavia ulkoisia puutosoireita. Eturivissä olevissa astioissa on vahvasti kalkittua savea. Keskellä olevaa, huonosti kasvavaa maata ryöstöviljellään ilman fosforilannoitusta kolmatta vuotta, ja sen fosforiluku oli laskenut alun tyydyttävästä (8,1 mg/l) välttävään (5,0 mg/l) viljavuusluokkaan. Ilman fosforia kasvatettu sato oli 63 %:ia runsaalla fosforilannoituksella saadusta. Kuva Into Saarela.