

Lífrænn fosfór í íslenskum jarðvegi

BJARNI HELGASON

Rannsóknastofnun landbúnaðarins, Keldnaholti, 112 Reykjavík

YFIRLIT

Greint er frá niðurstöðum mælinga á magni lífræns fosfórs með þekktri brennslu- og sýruskolsaðferð (H_2SO_4) í nokkrum túnum í Hraungerðishreppi í Árnessýslu og í Landsveit í Rangárvallasýslu annars vegar og í Helgafellssveit á norðanverðu Snæfellsnesi hins vegar og þær meðal annars bornar saman við mælingar á sýnum úr óræktuðu landi í Landnámi Ingólfs. Í þurrleendu túnum reyndist lífrænn fosfór allt frá því að vera ekki mælanlegur upp í 236 mg P/100 g, en í túnum sem talin voru blautari mældist lífrænn fosfór 41–171 mg P/100 g. Hærri tölur voru algengari í sýnum af Snæfellsnesi.

Almennt séð reyndist magn lífræns fosfórs í túnunum mun breytilegra en það sem bundið var í ólífrænum samböndum.

Að meðaltali var hlutdeild lífræns fosfórs í heildarfosfórforða jarðvegsins í túnunum á Snæfellsnesi, sem telst utan hins hefðbundna gosbeltis landsins, um 48%, en fyrir Suðurland sem heild var hlutdeildin 26% og skiptist þannig að í Árnessýslu var hún 43% en ekki nema 17,5% í Rangárvallasýslu. Nálægðin við foksvæðin efst í Rangárvallasýslu skiptir greinilega máli með tilliti til aldurs jarðvegsins og þess að fokefnin eru rík af basalt-gleri og ýmsum afbrigðum þess. Einnig má velja því fyrir sér varðandi Landsveitina hvaða áhrif tiltölulega lítil úrkoma, ásamt brennisteinsskorti, kunni að hafa á hringrás lífræna efnanna.

Í Landnáminu, þar sem eingöngu var um óræktað land að ræða reyndist, hlutdeild lífræns fosfórs vera um 53,5% að meðaltali, en að magni til reyndist lífræni fosfórinn vera á bilinu frá 0 til 171 mg P/100 g.

Sjá má nokkurt sambengi milli „umskiptanlegs“ fosfórs fengnum með natríumhydroxíð-skoli og lífrænna efna jarðvegsins, þótt reikna megi með að einhvers konar staðbundnar aðstæður, til dæmis búseta og jarðvegsgerð, geti haft þar veruleg áhrif. Hins vegar er að sjá skýrt sambengi milli hins „umskiptanlega“ fosfórs og fosfórs fengnum með brennisteinssýru-skoli. Athyglisvert er að þessar tvær skolgerðir virðast losa fosfór í svipuðum hlutföllum hvort sem um ræktað eða óræktað land er að ræða, þannig að álykta megi að áburðarnotkun hafi svipuð hlutfallsleg áhrif bæði á fosfórforða („pool“) jarðvegsins og hinn „umskiptanlega“ eða hreyfanlega („labile“) hluta hans. Langtíma eftirverkanir af fosfóráburði má því væntanlega skoða í ljósi þessa.

Það er ljóst samkvæmt fyrirliggjandi niðurstöðum að tölurverður munur getur verið milli landsvæða og endurspeglast hann að verulegu leyti líka í C:P hlutfalli jarðvegsins. Með C:P hlutfallið í huga má um leið velja fyrir sér hvaða þýðingu fosfórinn hefur fyrir uppsöfnun lífrænna efna jarðvegsins og myndun moldefna hans, hliðstætt þeim viðurkenndu áhrifum sem hann hefur á frjósemi landsins og sprettu.

Að lokum er bent á nauðsyn rannsókna á innbyrðis hlutföllum hinna ýmsu fosfórsambanda jarðvegsins með tilliti til mismunandi rakastigs hans og gróðurfars, ekki hvað síst þegar kemur að endurvinnslu túnanna og hugsanlegum áhrifum búfjáraburðar á „hreyfanleika“ fosfórsins og hvernig hann nýtist.

SUMMARY

Organic phosphorous in Icelandic soils

Organic phosphorous (OP) was determined by ignition-sulphuric acid in cultivated grassland soils in two counties (Hraungerðishreppur and Landsveit) within the country's active volcanic area in South-Iceland and in one (Helgafellssveit) in West-Iceland which generally is recognized as outside the area. Also a

number of virgin soils in south-western Iceland (Landnám) were studied. In freely drained grassland OP ranged from zero to 236 mg P/100 g and from 41 to 171 mg P/100 g in poorly drained fields. In general higher figures are found in West-Iceland. For the non-cultivated virgin soils in south-western Iceland the range was from zero to 171 mg P/100 g irrespective of drainage and its mean percentage was 53% of the total soil-P.

OP as percentage of total soil-P had the mean value of 48% in western Iceland, while values for the two counties in South-Iceland were 43% and 17.5%, the lower figure in the county of Landsveit being closer to active sources of eolian (wind-blown) material. One of the constituents of eolian material is basaltic glass and its metamorphic derivatives whose weathering end-products are allophane clay and hydrates of Fe and Al, all known for their high phosphate sorption abilities.

The regional difference for the cultivated soils as a whole is also reflected in other soil factors measured as well as in OP contents whose mean value was twice as high in West-Iceland as in the southern regions. Furthermore there is a clear evidence that soil-P status changes even within a relatively short period of time when soils are fertilized and cropped regularly.

Evidently there is a relationship both for the cultivated and the virgin soils between quantities of NaOH-“exchangeable” P (NaOH-P) and soil organic matter (OC) and also a clear relation between NaOH-P and the H₂SO₄-soluble P. The two extractants seem to extract P in about equal proportions irrespective of whether the soil is cultivated or not, indicating that P-fertilization affects the labile soil P and the total P-pool in a similar manner.

It is also speculated to what extent the C/P ratio (OC/OP) reflects soil P status and the latter's influence on organic matter accumulation and humus formation, especially as the highest C/P values are found in the area where soils are relatively “youngest” and most subjected to repeated dust storms (eolian material) from their neighbourhood.

In the end it is mentioned that for the benefit of the country's future agriculture research on soil chemistry and fertilizers ought to be more aimed at the likely importance of farmyard manure in relation to the chemistry of Fe and Al and its influence on soil-P as the relatively high presence of the two elements is one of the chief characteristics of Icelandic soils.

Key words: basaltic, eolian (wind-blown material), Iceland, organic phosphorous, volcanic.

INNGANGUR

Fosfór er í hópi mikilvægustu næringarefna plantnanna. Vafalítið helgast það af því, að hann er í hópi þeirra þriggja næringarefna, ásamt köfnunarefni og kalí, sem víðast skortir og skila að jafnaði mestum uppskeruauka, þegar áburður er notaður.

Í ljósi fjölmargra áburðartilrauna frá fyrri tíð hefur jarðvegur hér á landi ætíð verið talinn fosfórsnauður (Björn Jóhannesson, 1959, 1960). Löng reynsla er fyrir því að nýræktir þurfi mikinn fosfór í upphafi til að ræktun takist vel. Er þetta í samræmi við það, sem annars staðar er þekkt varðandi eldfjallajarðveg (Birrell, 1964) af basaltuppruna. Basalt er tiltölulega ríkt af járn- og alumíníumsamböndum, sem endurspeglast svo í jarðveginum, m.a. í mynd basalt- og móbergsglers og ýmissa ummyndana þess af völdum efnaveðrunar, er lýkur meðal annars með einhvers konar járn- og alumíníumhydroxíðum, auk

allófan-leirs. En til samans eru það þessi járn- og alumíníumsambönd, sem valda mestu um fosfórförfina. Ólíkt því sem víða þekkt er í nágrennlöndum okkar skilar fosfór áburðurinn einn sér litlum árangri hvað sprettu snertir. Hins vegar skilar hann góðum árangri þegar köfnunarefnisáburður er borinn á samhliða.

Í jarðvegi er fosfór bundinn í ólífrænum samböndum, þ.á.m. frumsteindum, en hann getur líka að verulegum hluta verið bundinn í hinum lífrænu efnum jarðvegsins. Ýmsar erlendar rannsóknir benda til að allt að 80% hans (Mortensen og Himes, 1964), og stundum meira, kunni að vera þannig bundið, jafnvel þótt um steinefnajarðveg sé að ræða. Mikilvægi fosfórs í lífrænum samböndum og niðurbrot þeirra til losa um fosfórinn yfir í aðgengilegra form fyrir plönturnar er því vel þekkt (Chater og Mattingly, 1980; Sharpley og Smith, 1983, 1985). Varðandi

ræktað land á norðlægari breiddargráðum er samt tilhneiging til að horfa fram hjá hugsanlegu hlutverki hins lífræna fosfórs, vegna þess hve hlutdeild hans er yfirleitt talin lítil þegar steinefnajarðvegur er annars vegar (Russell, 1973). Af þessum sökum beinast flestar aðferðir, sem notaðar hafa verið til að áætla fosfórastand jarðvegs með tilliti til áburðarþarfar, eingöngu að hinum ólífrænu samböndum hans, þótt eitthvað lítilsháttar af lífrænum efnunum kunnir að leysast upp um leið. Engu að síður eru dæmi um tún á steinefnajarðvegi þar sem allt að 84% af fosfórforðanum reyndust bundin í lífrænum samböndum (Carter, 1958, sjá Dalal, 1977).

Íslenskur jarðvegur er yfirleitt ríkur af lífrænum efnunum og hafa þau því mikil og oft ríkjandi áhrif á ýmsa eiginleika hans (Bjarni Helgason, 1959, 1963, 1968). Af þessum sökum þótti áhugavert til viðbótar fyrri rannsóknum að kanna hlutdeild lífrænna efna í fosfórbúskap jarðvegsins, auk fleiri atriða sem snerta fosfór. Áður hefur verið greint frá hluta af þeim rannsóknum (Bjarni Helgason 1998). Að öðru leyti hefur lítið verið ritað beinlínis um fosfór í íslenskum jarðvegi, nema í tengslum við uppskeruauka af völdum fosfórs í áburðartilraunum (Björn Jóhannesson, 1959, 1960) og á samamburði skolaðferða fyrir leysanlegan fosfór vegna áburðarleiðbeiningar (Friðrik Pálmason og Bjarni Helgason, 1990).

EFNI OG AÐFERÐIR

Í samræmi við eðli sitt er fosfór í íslenskum jarðvegi, eins og víðast hvar annars staðar, að mestum hluta bundinn við allra efstu sentimetra jarðvegsins og þá ekki hvað síst þegar um ræktað og áborið land er að ræða. Athuguð voru sýni úr 46 tünunum frá Suður- og Vesturlandi, auk sýna úr 7 áburðartilraunum með stigvaxandi magn fosfóráburðar. Sýnin voru annars vegar úr Hraungerðishreppi í Árnessýslu og Landssveit í Rangárvallasýslu og hins vegar úr Helgafellsveit á norðanverðu Snæfellsnesi. Þessi sýni voru öll tekin úr efstu 5 cm jarðvegsins eins og algengast er í túnrækt, en samskonar sýni hafa um árabíl verið notuð til að

meta fosfórastand túna með tilliti til áburðarleiðbeininga. Sýnin úr tünunum voru tekin af viðkomandi héraðsráðunautum og skiptingin þar í þurrendisjarðveg og mýrarjarðveg er samkvæmt mati þeirra og viðkomandi ábúanda. Natríumbíkarbónat (0,5-normal) samkvæmt aðferð Olsens o.fl. (1954) hefur verið notuð á RALA sem skollausn fyrir fosfórinn í þessu skyni.

Að auki voru athuguð 50 eldri jarðvegsýni, sem höfundur hafði safnað áður á Suðvesturlandi á landsvæðinu er kennt hefur verið við Landnám Ingólfs. Annars staðar hefur verið gerð grein fyrir þeim sýnum (Bjarni Helgason, 1959, 1963, 1968), en þau voru öll úr ósnortnu landi. Það leiðir af sjálfu sér varðandi þau sýni að jarðvegsþykkt og gróðurfar var býsna breytilegt og sýnatökudýpt því ekki stöðluð á sama hátt og í tünunum. Sýnatöku var engu að síður hagað þannig að reynt var að spanna rötardýptina á hverjum stað, þó hvergi dýpra niður en í 15 cm. Víða á hrauninum náði jarðvegur þó ekki þeirri dýpt. Niðurstöðurnar úr þessum sýnum eru því ekki að öllu leyti alveg sambærilegar við niðurstöður úr tünunum sem hér er fjallað um. En alls var um að ræða 42 sýni úr þurrlendi og 8 sýni tekin úr votlendi.

Ekki er greint sérstaklega á milli jarðvegsgerða á annan hátt en að greina á milli mýrarjarðvegs annars vegar og þurrendisjarðvegs hins vegar.

Ýmsar aðferðir hafa verið notaðar til að mæla magn fosfórs í lífrænum efnunum jarðvegsins (Olsen og Sommers, 1982) og gefa þær yfirleitt sambærilegar niðurstöður. Í þeirri rannsókn sem hér greinir frá er byggt á endurbættri brennslu- og sýruskolsaðferð Saunders og Williams (1955) (Walker og Adams, 1958), þannig að 1 g af sýni var hrist í 100 ml af 1-normal brennisteinssýru á fram- og til-baka hristara í 5 klst samhliða sambærilegu sýni sem áður hafði verið brennt í 2 klst við 450°C. Að því loknu voru bæði sýnin látin standa yfir nótt, síðan síuð og skoluð að nýju á sama hátt. Fosfór var svo mældur í hverju skoli fyrir sig með litgleypnimæli í samræmi við aðferð Williams og Stewarts (1941). Niðurstöður úr

fyrri og síðara skoli hvers sýnis voru síðan lagðar saman. Fosfór, er bundinn hafði verið í lífrænum efnum, kemur þá fram sem mismunur á fosfórmagni þess sem brennt var og hins óbrennda.

Reyndar hefur verið bent á (Dormaar og Webster, 1964) að niðurstöður samkvæmt þessari aðferð geti í vissum tilvikum verið verulega of- eða vanreiknaðar, sem geti gert samanburð milli óskyldra jarðvegstegunda erfiðan. Aðrar aðferðir hafa heldur ekki reynt óskeikular.

Mat var lagt á nothæfi aðferðarinnar með því að gera nokkrar frumathuganir varðandi líkleg áhrif sýrumeðferðar á jarðveginn fyrir og eftir brennslu við 450°C. Voru sýni skoluð og hrist í sýru allt frá 1 klst og upp í 7 klst samfleytt hverju sinni. Í ljós kom þegar sýni voru tvískoluð með sýrunni að tímalengdin, sem hvort sýruskol varaði, skipti tiltölulega litlu máli varðandi ætlað heildarmagn af lífrænum fosfór. Meira mældist af fosfór í fyrri skolinu eftir því sem skolunartíminn var lengri, er síðan leiddi til lækkunar í seinna skolinu og öfugt, þannig að heildarútkoman varð hin sama (Bjarni Helgason, 1998). Er þetta í samræmi við niðurstöðu fyrrgreindra Saunders og Williams (1955).

Magn lífrænna efna var bæði metið sem glæðitap með brennslu í 2 klst við 450°C og með mælingu kolefnis samkvæmt aðferð Walkley og Black (Walkley, 1947). Þá var 1-normal natríum hydroxíð skollausn samkvæmt aðferð Pipers (1950) notuð til að mæla „umskiptanlegan“ fosfór í jarðveginum og loks var sýrustig (pH) mælt í þykkum vatnsgraut (Jackson, 1958) eða vellingi.

NIÐURSTÖÐUR OG UMFJÖLLUN

Sé eingöngu litið til hins ræktaða lands reyndist magn fosfórs bundið í lífrænum efnum mun breytilegra en magn fosfórs í ólífrænum samböndum. Í sýnum af Suðurlandi reyndist fosfór úr lífrænu efnunum frá því að vera ekki mælanlegur upp í 157 mg P/100 g jarðvegs, meðan fosfór ólífrænu sambandanna var 99–189 mg P/100 g jarðvegs. Meðaltal allra sýnanna var

56 mg P bundið í lífrænum efnum og rúmlega tvöfalt það, eða 129 mg P/100 g, bundin sem ólífrænn fosfór.

Í sýnunum af Snæfellsnesi reyndist fosfór bundinn í lífrænum efnum hins vegar allmiklu hærri en sunnanlands, enda þar hlutfallslega meira um mýrartún. Magn lífræns fosfórs var þar 44–236 mg P/100 g jarðvegs, – að meðaltali 121 mg P fyrir öll sýnin, en fosfór í ólífrænum samböndum mældist hins vegar svipaður að magni til og fyrir sunnan, eða 71–169 mg P, – að meðaltali 122 mg P/100 g af þurrkuðum jarðvegi.

Samkvæmt þessu reyndist því hlutdeild fosfórs, sem bundinn hafði verið í lífrænum efnum í túnunum sunnanlands, alveg frá því að vera ekki mælanleg upp í að vera allt að 51% af heildarfosfórmagni jarðvegsins og meðaltalið sem næst 26%. Í Landsveitinni er lífrænn fosfór að meðaltali ekki nema um 17,5% af heildarmagninu, en í Hraungerðishreppnum nær lífrænn fosfór hins vegar 43%. Til skýringar þessum mismun er rétt er að minna á að verulegur munur er á jarðvegi þessara tveggja hreppa, Hraungerðishrepps og Landsveitar, og má nefna í því sambandi að í síðarnefnda hreppnum er magn lífrænna efna mælt sem kolefni (C) ekki nema rúmlega 3,5% C, meðan það er ríflega 9% C í hinum fyrrnefnda.

Á Snæfellsnesi er hlutdeild fosfórs úr lífrænum efnum verulega hærri, eða 26–67% af heildarfosfórforðanum og sem næst 48% að meðaltali.

Í hinu ósnortna landi Landnámsins sést að lífrænn fosfór í þurrlendisjarðveginum spannar býsna mikið bil, allt frá því að vera ekki mælanlegur upp í að vera sem næst 75% af heildarmagni fosfórsins meðan samsvarandi tölur fyrir hin fáu votlendissýni eru 52–79% af heildarmagninu. Töluverður munur er líka á meðaltölunum, eða um það bil 51,5% fyrir þurrlendisjarðveginn en 63% í votlendisjarðveginum. Og ef allt er lagt saman verður meðaltalið sem næst 53,5%.

Á heildina litið er hlutfall lífræns fosfórs í Landnáminu því verulega hærri en í ræktaða landinu austan fjalls, jafnvel í Hraungerðis-

hreppnum, sem þó liggur næst Landnáminu landfræðilega og jarðfræðilega séð. Túnin í Hraungerðishreppnum eru vissulega einsleitari, með tilliti til jarðvegs og gróðurs, heldur en ósnortin útjörð Landnámsins. Jarðvegur innan þess er af ýmsum toga og sumstaðar næstum gróðurvana, meðan gróðurfar að öðru leyti spannar allt frá hrjósturslegum hraungróðri (lynggróðri og mosum) og holtagróðri yfir í gróskumikið graslendi. Fullyrða má þó að nokkuð sé líkt með jarðvegi þessara tveggja svæða, einkum ef horft er til kornastærðar og magns af lífrænum efnum. Þó er rétt að hafa í huga að dreifingin, með tilliti til lífrænna efna mæld sem kolefni, er langtum meiri í sýnunum innan Landnámsins en í Hraungerðishreppnum. En meginskýringin á þessum mun er væntanlega sú uppsöfnun fosfórs sem fylgir ræktun lands og áburðarnotkun.

Niðurstöðurnar, sem hér er fjallað um, eru því ósamhljóða eldri ályktunum, sem byggðust aðeins á tveimur sýnum úr Ölfusinu. Þar kom fram að um 66% af fosfórforða í íslenskum móajarðvegi væru bundin í lífrænum samböndum, en samsvarandi tala væri aðeins um 40% í mýrarjarðvegi (Björn Jóhannesson, 1960).

Fosfór sem unnt var að skola út með natríumhydroxíð-lausn, stundum kallaður „umskiptanlegur“ fosfór, var 67 mg P/100 g að meðaltali á Suðurlandi, – lægst 29 mg P og hæst 138 mg P/100 g jarðvegs. Ef hins vegar er greint á milli hreppanna tveggja kemur í ljós töluverður munur. Umskiptanlegi fosfórinn í Hraungerðishreppnum er 48–138 mg P, með meðaltalið um 91 mg P/100 g, meðan sýnin úr Landsveitinni eru með 29–98 mg P og meðaltalið nær þar ekki nema tæplega 54 mg P/100 g jarðvegs. Á Snæfellsnesi reyndust hæstu og lægstu gildi áþekkt þeim fyrir sunnan ef litið er á Suðurlandið sem eina heild, eða 131 mg P og 37 mg P/100 g, en meðaltalið er hins vegar nokkru hærra, eða 81 mg P/100 g jarðvegs. Til samanburðar eru svo tölurnar úr hinum óræktaða jarðvegi Landnámsins þar sem lægsta gildið reyndist í nær gróðurvana landi, eða um 4 mg P/100 g, meðan það hæsta mældist 80 mg P. Meðaltalið er hins vegar bara 30 mg P/100 g jarðvegs.

Þá er líka athyglisvert að í Landnáminu reyndist meiri fosfór að jafnaði bundinn í lífrænum samböndum en mældist hvort heldur er í brennisteinssýru- eða natríumhydroxíð-skoli. Þessu er hins vegar alveg öfugt farið í ræktaða landinu og endurspeglar það vel áhrif fosfóraburðarins á hvernig innbyrðis fosfórjafnvægi jarðvegsins breytist með ræktuninni.

Í samanburði við allar fyrrgreindar fosförtölur úr hinu ræktaða landi eru svo tölurnar sem fást með natríumbíkarbónat-skoli af allt annarri og lægri stærðargráðu, auk miklu minni breytileika innbyrðis. Skýring þessa er að natríumbíkarbónat-lausun er mjög veik skollausn, sem aðeins leysir lítið úr þeim fosfór-samböndum sem til staðar eru í jarðveginum.

Í 1. töflu má svo sjá hinar ýmsu meðaltölur, ásamt hæstu og lægstu gildum, þar sem jarðvegssýnunum hvers landsvæðis hefur verið skipt í þurrlendi annars vegar og mýrarjarðveg hins vegar. Athugun á þessari töflu gefur vel til kynna hinn landslutabundna mun túnanna, sem væntanlega má að einhverju leyti rekja til ólíks berggrunns, en þó trúlega fyrst og fremst til áfoks í mynd moldroks og gjóskufalla. Nálægðin sunnanlands, sérstaklega þó í Landsveitinni, við foksvæðin veldur því m.a. að þar er hlutfallslega minna um lífræn efni í efsta hluta jarðvegsins um leið og pH mælist hærra þar en á Snæfellsnesi.

Nálægðin við uppblásturssvæðin kemur kannski greinilegast fram í sýnum nr 81, 82, 91, 95 og 131, sbr. 2. töflu, sem öll eru efst úr Landsveitinni, en þar gætir áhrifa langvarandi áfoks hvað mest. Benda má á að fokefni þessi eru rík af basalt-gleri og hinum ýmsu afbrigðum þess. Það er athyglisvert hér hve lítil breytileiki virðist vera í heildarmagni fosfórs, þ.e. samanlögðum lífrænum og ólífrænum fosfór, bæði milli jarðvegsgerða og landshluta. Hér má bæta því við að skömmu eftir að mælingarnar, sem hér er fjallað um, voru gerðar áttuðu menn sig á að brennisteinsskortur gæti hamlað grasprettu umtalsvert víða í Landsveit (Bjarni Helgason, 1981), enda ársúrcoma þar að jafnaði lítil og sérstaklega þó að vorlagi. Eins og kunnugt er berst að jafnaði nokkuð af brennisteini

1. tafla. Samanburður meðaltalna (\bar{x}) jarðvegssýna fyrir þurrlandi og múrlendi þriggja landsvæða á kolefni (%C), heildarmagni lífræns fosfór (P, mg/100 g jarðvegs, hundraðshluta (%) lífræns fosfórs (P), mg fosfórs (P)/100 g leysanlegum í brennisteinssýru (H_2SO_4), mg fosfórs (P)/100 g umskiptanlegum með natríumhydroxíði (NaOH) og mg fosfórs (P) í $NaHCO_3$ -skoli, auk sýrustigs (pH), ásamt hæstu og lægstu gildum.

Table 1. Range and mean (\bar{x}) values for %C, mg org. P/100 g, % org. P, mg H_2SO_4 -soluble P/100 g, mg NaOH-exchangeable P/100 g, mg $NaHCO_3$ -soluble P/100 g and pH in freely and poorly drained soils in three main areas in south, south-western and western Iceland.

Staður Location	Fjöldi No.	C %		Lífr. P—Org. P mg/100g		Lífr. P—Org. P %		H_2SO_4 -P mg/100g		NaOH-P mg/100g		$NaHCO_3$ -P mg/100g		pH	
		\bar{x}	Bil—Range	\bar{x}	Bil	\bar{x}	Bil	\bar{x}	Bil	\bar{x}	Bil	\bar{x}	Bil	\bar{x}	Bil
Suðurland—S-Iceland															
Þurrlandi—Freely drained	26	5,1	2,8–13,8	48,9	0–157,2	33,5	0–50,2	130,0	101,1–186,4	66,6	28,7–138,3	2,5	0,6–4,7	5,9	5,3–6,2
Votlendi—Poorly drained	5	9,3	4,6–13,6	91,1	41,4–136,7	40,1	28,6–51,1	128,0	99,6–144,8	68,3	48,0–97,2	2,2	1,4–3,3	5,5	5,3–5,9
Hraungerðishreppur	11	9,2	6,4–13,8	110,3	43,2–157,2	43,2	28,6–51,1	141,9	103,3–186,4	90,8	48,0–138,3	2,6	1,4–4,1	5,6	5,3–5,9
Landsveit	20	3,6	2,1–5,4	26,4	0–51,0	17,7	0–29,3	121,7	99,6–170,1	53,7	28,7–98,4	2,4	0,6–4,7	5,8	5,5–6,2
Öll sýni—All samples	31	5,8	2,8–13,8	55,7	0–157,2	26,0	0–51,0	128,8	99,6–186,4	66,8	4,4–138,3	2,5	0,6–4,7	5,8	5,3–6,2
Landnám Ingólfs—SW-Iceland															
Þurrlandi—Freely drained	42	8,1	0,2–14,4	68,7	0–142,3	51,6	0–74,6	57,2	29,1–104,8	30,0	3,8–80,3	e.m.		5,9	5,4–6,9
Votlendi—Poorly drained	8	19,2	10,0–21,9	84,9	23,7–171,4	63,0	52,0–78,7	45,1	20,7–82,6	29,6	18,9–67,5	e.m.		5,4	4,9–6,1
Öll sýni—All samples	50	9,2	0,2–21,9	71,3	0–171,4	53,4	0–78,7	55,3	20,6–85,6	29,9	3,8–80,3	e.m.		5,8	4,9–6,9
Vesturland—W-Iceland															
Þurrlandi—Freely drained	3	17,3	10,6–17,8	197,5	148,1–236,4	60,3	56,1–66,5	129,9	105,0–168,9	96,4	75,8–131,1	2,5	2,0–3,5	5,0	4,9–5,2
Votlendi—Poorly drained	12	22,80	8,3–38,1	102,2	44,4–171,5	44,6	26,3–58,3	120,5	71,2–149,2	77,2	37,2–114,2	3,0	1,1–4,2	5,2	4,6–5,8
Öll sýni—All samples	15	21,7	8,3–38,1	121,2	44,4–236,4	48,0	26–67	122,4	71,2–168,9	81,6	37,2–114,2	2,9	1,1–4,2	5,8	4,6–5,8

e.m.= Ekki mælt—Not measured.

sem loftborin mengun inn yfir landið með suðlægum vindátum (Bjarni Helgason, 1994) og úrkomu, þót farið hafi ört minnandi vegna þættra mengunarvarna í iðnríkjunum Eyroðu. Staðbundinn brennisteinsskortur kann því að hafa haft veruleg áhrif á hringrás lífrænu efnanna á svæðinu, þ.e.a.s. myndun þeirra og niðurbrót, og er slíkt ekki óþekkt annars staðar (Walker o.fl., 1959; Jackson, 1966).

Í 3. töflu er að sjá viss tengsl milli aldurs túnanna og þeirra jarðvegsþátta sem skoðaðir voru, nema sýrustigs. Ræktunaráhrifa á sýrustig jarðvegs fer sjaldnast að geta fyrir en eftir einhverra ára samfellda ræktun, enda eru fleiri samverkandi þættir sem þar geta haft áhrif. Þetta kemur t.d. vel fram við uppgræðslu auðna og gróðurvana lands, þar sem lítið er um lífræn efni, að uppsöfnun þeirra og myndun moldefna („humus“) verða hið ráðandi afl til breytinga á sýrufar jarðvegsins. Hins vegar virðist í gamalgrónu landi, sem brotið hefur verið til ræktunar, bæði sunnlands og á Snæfellsnesi, að kolefni sem mælikvarði á moldefni lækki eftir því sem hin samfellda ræktun verður eldri, á sama tíma og hlutur fosfórs eykst. Hér er samt rétt að hafa í huga að fátt er vitað um hugsanlegan mismun í jarðvegsgerðum við upphaf ræktunar á hinum ýmsu ræktunarskeiðum og hvaða áhrif slíkt kynni að hafa haft í þessu samhengi. Líka má nefna, þót kannski skipiti minna máli, að aðferð sú (Walkley og Black), sem hér var notuð til að mæla kolefni jarðvegsins er venjulega ein-göngu talin ná til þess hluta lífrænu efnanna sem algjörllega eru umbreytt í moldefni eða „humus“. Í sumum tilvikum getur hún því gefið eitthvað lægri niðurstöður en aðferðir sem byggja á brennslu. Brennsla í ofni

2. tafla. Kolefnisinnihald (%C), heildarmagn lífræns fosfórs (mg P/100 g), % lífrænn fosfór (P), kolefnisfosfór hlutfall (C:P), fosfór leysanlegur í brennisteinssýru (mg H₂SO₄-P/100 g), natríumhydroxíð umskiptanlegur fosfór (mg NaOH-P/100 g), fosfór leysanlegur í natríum bikarbónat-skoli og sýrustig (pH) í einstökum sýnum úr túnum af Suðurlandi (Hraungerðishreppi og Landsveit).

Table 3. Percentage organic C, org. P mg/100 g, % org. P, C:P ratio, H₂SO₄-soluble P mg/100 g, NaOH-exchangeable P mg/100 g, NaHCO₃-soluble P mg/100 g and pH in individual soil samples under permanent pasture in two counties (Hraungerðishreppur and Landsveit) in South-Iceland.

Staður Location	Fjöldi No.	%C	Lífr. P— mg/100g	Org. P %	C:P	H ₂ SO ₄ -P mg/100g	NaOH-P mg/100g	NaHCO ₃ -P mg/100g	pH	
Hraungerðishr.	4	11,75	136,7	51,16	86	130,5	97,2	3,3	5,35	
	7	9,53	118,5	40,03	80	177,4	127,8	4,1	5,50	
	12	6,90	102,1	49,71	68	103,3	63,4	1,4	5,85	
	26	9,50	43,2	28,62	220	107,8	62,6	1,4	5,45	
	37	7,19	103,3	43,86	70	132,2	89,9	2,5	5,85	
	40	6,44	98,5	39,86	66	148,6	101,3	2,3	5,90	
	49	13,53	130,8	47,46	103	144,8	47,8	2,1	5,3	
	50	13,75	157,2	50,23	87	155,7	98,4	3,5	5,25	
	60	8,15	112,8	42,71	72	151,4	103,8	2,6	5,55	
	61	7,99	122,3	39,61	65	186,4	138,3	3,5	5,40	
	62	6,91	88,5	41,76	78	123,4	68,2	1,8	5,50	
	Landsveit	66	5,17	51,0	29,07	101	124,4	57,4	3,1	5,60
		67	5,41	42,6	22,22	127	148,6	66,9	2,7	5,45
		72	4,98	43,1	27,33	116	114,6	48,3	2,4	5,60
73		3,76	18,2	13,83	206	113,4	38,0	1,7	6,05	
75		3,72	17,8	12,58	209	124,7	57,1	3,3	5,85	
81		2,82	8,2	6,40	344	120,3	45,0	2,9	5,75	
82		2,44	11,2	8,52	218	119,8	48,9	2,9	5,90	
90		3,86	28,5	19,06	135	121,0	55,6	2,9	5,90	
91		2,08	5,6	5,20	371	101,1	28,7	1,5	6,05	
95		2,27	0,0	0,0		125,2	48,6	2,2	5,65	
101		4,01	32,5	21,60	123	117,8	57,3	2,3	5,90	
105		4,72	44,6	26,19	105	125,8	60,1	1,6	5,70	
109		3,97	15,8	19,22	251	107,9	37,6	0,6	5,60	
116		3,31	14,5	9,49	220	137,9	60,9	3,8	5,70	
120		4,51	39,0	26,47	115	108,3	49,8	2,3	5,85	
124	3,63	33,9	21,38	107	124,7	66,1	1,0	5,70		
131	4,51	11,3	6,24	399	170,1	98,4	4,7	5,50		
132	3,66	18,2	14,75	201	105,3	46,2	2,3	6,15		
136	4,10	25,0	17,29	164	124,3	59,3	2,8	5,90		
153	4,59	41,4	29,35	111	99,6	44,0	1,7	5,90		

við nálægt 1000°C hita nær til alls lífræns efnis og mælir því kolefni þess án tillits til hvar það er stött í rotnunar- eða ummyndunarferlinu, bæði sölnað og hálfrotið kusk sem og alveg óþekkkjanlegar og ummyndaðar gróðurleifar.

Vaxandi hlutdeild fosfórs með aldri túnanna er eðlileg afleiðing af notkun hvers kyns áburðar

sem inniheldur fosfór, án tillits til þess í hvaða mynd hann kann að hafa verið. Þessi aukning kemur þó ekki að öllu leyti fram á sama hátt sunnanlands og á Snæfellsnesi, því að á Snæfellsnesi skilar þessi uppsöfnun á fosfór sér ekki í natríumbikarbónat-skolinu. Erfitt er að átta sig á orsökum þessa: hvort þeirra er að

3. tafla. Samanburður á aldri (ræktunarári) túna á Suður- og Vesturlandi við kolefnismagn (%C), heildarmagn lífræns fosfórs (P) í 100 g jarðvegs, mg fosfórs (P)/100 g leysanlegum í brennisteinssýru (H_2SO_4), mg fosfórs (P)/100 g umskiptanlegum með natríumhydroxíði (NaOH) og mg fosfórs (P) í $NaHCO_3$ -skoli, auk sýrustigs (pH).

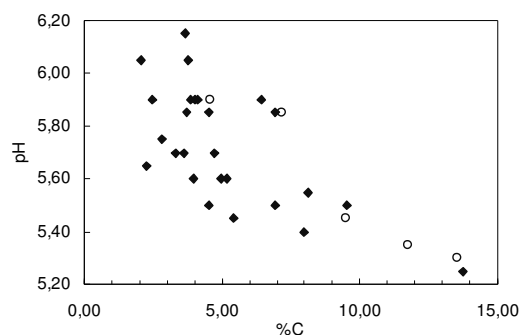
Table 2. Age of cultivation in comparison with % C, mg organic P/100 g, mg H_2SO_4 -soluble P/100 g, mg NaOH-exchangeable P/100 g, $NaHCO_3$ -soluble P/100 g and pH under permanent grass in south and western Iceland.

Staður Location	Ræktunarár Year of cultivation	Fjöldi No.	%C	Lífr.P—Org.P mg/100g	H_2SO_4 -P mg/100g	NaOH-P mg/100g	$NaHCO_3$ -P mg/100g	pH
Suðurland S-Iceland	1960–69	15	6,17	57,2	122,4	61,9	2,1	5,80
	1950–59	9	5,14	46,9	132,0	64,6	2,8	5,85
	1950	7	4,87	63,5	138,8	80,4	3,0	5,85
Vesturland W-Iceland	1960–69	11	23,17	95,0	116,3	70,9	3,3	5,10
	1950–59							
	1950	4	17,68	193,7	139,2	110,6	2,5	5,05

leita í öðru vísi jarðvegi Snæfellsnessins eða hvort þær tengist því á einhvern hátt að menn hafi talið óhætt að draga úr fosförgjöf á eldri túnin og þannig hafi þar orðið minna um auðleystan fosfór. Viðurkennt er að fosfórþörf nýrækta vestanlands, og reyndar líka kalþörf, er almennt talin vera meiri en sunnanlands. Einnig má líta til þess, að jarðvegur vestanlands getur talist „eldri“, þ.e. eigi sér lengri myndunarsögu, meðan jarðvegur sunnanlands er enn í mótun af völdum áfoks og gjóskufalla, sem Vesturlandið hefur að mestu sloppið við. Þetta síðastnefnda atriði skýrir vafalítið lægri hlutdeild lífrænna efna fyrir sunnan en í jarðvegi fyrir vestan.

Við nánari skoðun á niðurstöðum úr landshlutunum tveimur sést að önnur tengsl milli hinna ýmsu þátta eru ekki endilega samstiga, þótt í megin atriðum fylgi þau sama ferli. Ekki er samt unnt að ráða af gögnunum, eins og þau liggja hér fyrir, að hve miklu leyti það skýrist af náttúrulegum mismun milli landshluta eða tengist ræktunarstarfinu sjálfu. Ljóst er samt að magn lífrænna efna getur haft mikil og ráðandi áhrif á ýmsa eiginleika jarðvegsins. Dæmi um það eru tengslin milli sýrustigs (pH) og kolefnis í jarðveginum eins og sjást á 1. mynd. Og í útjörðinni hafa hin ráðandi tengsl lífræna efnanna sömuleiðis komið skýrt fram eins og áður hefur verið vitnað til.

Nokkuð ljóst má telja af 2. mynd að fosfór mældur í natríumhydroxíð-skoli, gjarna kallaður „umskiptanlegur“ fosfór, tengist að einhverju leyti hinum lífrænu efnum jarðvegsins. Natríumhydroxíð er líka oft notað til að skola út umskiptanlegum fosfór úr jarðveginum eftir að hann hefur fyrst verið mettaður með fosfati til að fá mat á svokallaða anjón-rýmd jarðvegsins. En anjón-rýmd jarðvegs er andstæðan við katjón-rýmd hans og eitt af efnafræðilegum sérkennum jarðvegsins á hverjum stað. Litið er á þessa „rýmd“



1. mynd. Samband sýrustigs (pH) og kolefnis (%C) í jarðvegi nokkurra túna í Hraungerðishreppi og Landsveit. (♦ = þurrlendi, ○ = votlendi).

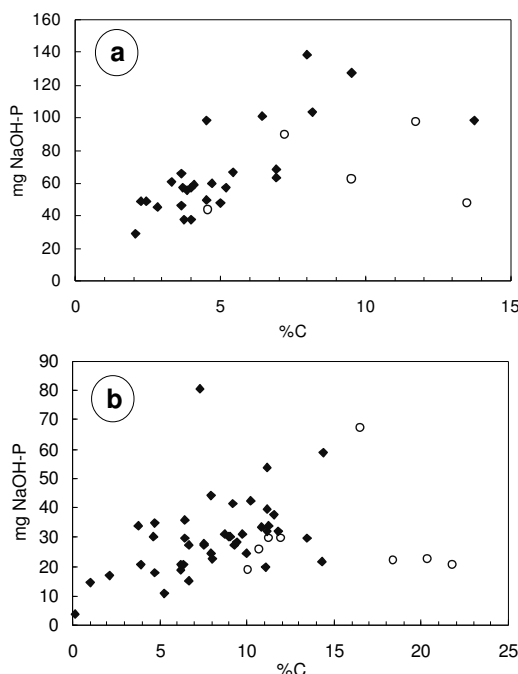
Figure 1. Relationship between pH and organic carbon (%C) under cultivated permanent pastures in the counties Hraungerðishreppur and Landsveit in south Iceland. (♦ = freely drained soils, ○ = poorly drained soils).

sem hámarks „getu“ hans til að binda næringar-efni, eftir atvikum í formi katjóna eða anjóna.

Natríumhydroxíð „umskiptanlegur“ fosfór í útjörðinni (2. mynd a sbr. b), ef horft er ein-göngu til þurrlendisins, fylgir áþekku ferli og í túnunum hvað varðar sýndar („apparent“) tengsl við lífræn efni. Þó virðist sýni sem var tekið í gróskumiklum grasbala, hjá eyðibýli niður við sjó skammt vestan Grindavíkur, vera frávik frá þessu og kann það í senn að tengjast fyrrum búskaparháttum á staðnum og nánd við sjó. Sé hins vegar litið til allra útjarðarsýnanna fjölgar þessum sýndar („apparent“) frávikum um mýrasýnin þrjú, sem hæst eru í kolefni.

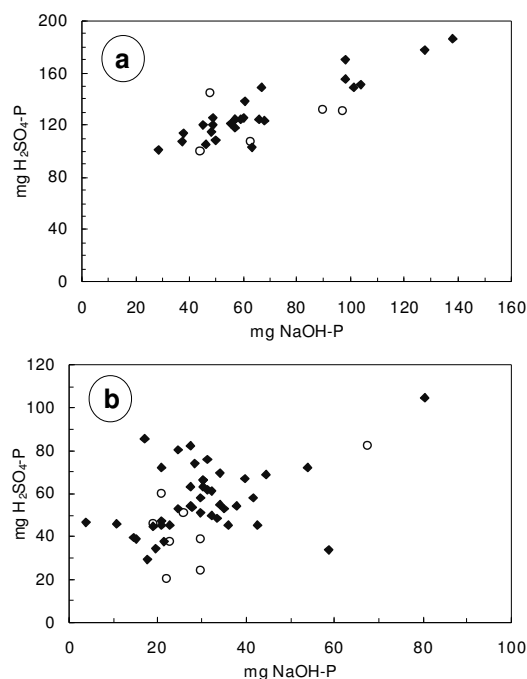
Ósagt skal þó látið hvort umrædd þrjú sýni séu undantekning, sem þurfi að leita sérstakra skýringa á eða hvort þau kynnu að falla að öðru en samt hliðstæðu ferli, ef fleiri sýni með svipuðu eða hærra kolefnisinnihaldi væru rannsökuð. Niðurstöður úr túnum af Snæfellsnesi, sem öll eru frekar há m.t.t. kolefnis, benda kannski í þá átt. En almennt bendir þetta til að einhvers konar staðbundnar aðstæður, t.d. búseta og jarðvegsgerð geti haft hér veruleg áhrif.

Hins vegar sýnast tengsl milli magns lífrænna efna og fosfórs fengnum beint með brennisteinssýru-skoli heldur óljós. Engu að síður kemur fram eins og sýnt er á 3. mynd mjög



2. mynd. Samhengi kolefnis (%C) og umskiptanlegs fosfórs (mg NaOH-P/100 g) í jarðvegi; (a) í túnum í Hraungerðishreppi og Landsveit og (b) úr úthaga í Landnámi Ingólfs. (◆=þurrlendi, ○=votlendi).

Figure 2. Apparent relationship between NaOH-“exchangeable” P and %C in virgin soils in south-western Iceland; (a) under cultivated permanent pasture in the counties Hraungerðishreppur and Landsveit in south Iceland and (b) in virgin soils in south-western Iceland. (◆=freely drained soils, ○=poorly drained soils).



3. mynd. Samband fosfórs umskiptanlegum með NaOH og fosfórs fengnum með brennisteinssýruskoli, mælt sem mg P/100 g jarðvegs; (a) í túnum í Hraungerðishreppi og Landsveit og (b) úr úthaga í Landnámi Ingólfs. (◆=þurrlendi, ○=votlendi).

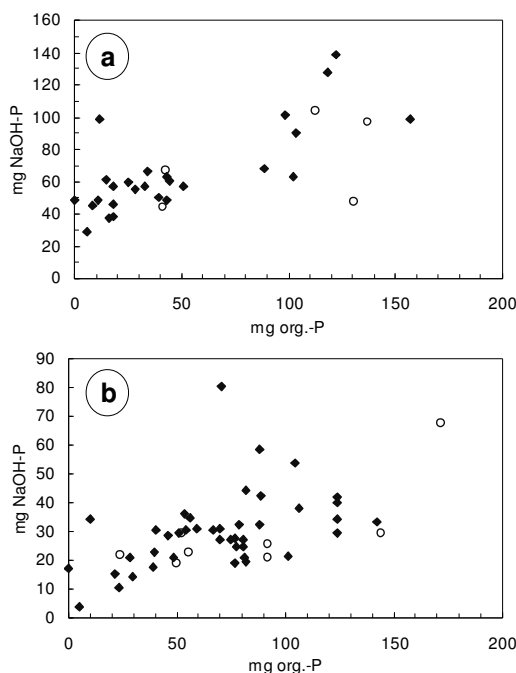
Figure 3. Relationship between NaOH-“exchangeable” P and H_2SO_4 -soluble P; (a) under cultivated permanent pasture in the counties Hraungerðishreppur and Landsveit in south Iceland and (b) in virgin soils in south-western Iceland. (◆=freely drained soils, ○=poorly drained soils).

skýrt samhengi milli hins „umskiptanlega“ fosfórs og þess sem fæst með brennisteins-sýru-skoli. Hér gæti skýringin meðal annars legið í því að með báðum skollausnunum sé að einhverju leyti verið að leysa fosfór úr sömu eða hliðstæðum samböndum, annars vegar sem „umskiptanlegan“ fosfór, vegna beinna anjónskipta í báðum skollausnunum, og hins vegar fosfór úr efnasamböndum, sem þær hafa beinlínis leyst upp.

Í útjörðinni fylgir fosfór, sem leysanlegur var með brennisteinsskoli, í meginráttum svipuðu ferli gagnvart natríumhydroxíð-umskiptanlegum fosfór og í túnunum (3. mynd a sbr. b). Á heildina litið virðist í fljótu bragði sem svipaður munur hlutfallslega ríki í fosfórmagni milli þessara tveggja skolgerða, hvort sem útjörðin á í hlut eða ræktaða landið. Af þessu má kannski álykta að áburðarnotkun breyti tiltölulega litlu hlutfallslega um raunverulegan fosfórforða („pool“) jarðvegsins, sem hér er fenginn með brennisteinsskoli, og hinn natríumhydroxíð „umskiptanlega“ eða hreyfanlega („labile“) hluta hans. Áburðarnotkunin virðist fyrst og fremst hafa áhrif á magnið í hvorri mynd fyrir sig. Að lítt athuguðu máli hefði þó kannski mátt ætla að hún breytti þarna einhverju um. Lengri tíma eftirverkanir í ræktun tengdar áburðargjöf má væntanlega skýra í þessu ljósi. Og í ljósi þessa mætti líka álykta að áburðarnotkunin hér hafi ekki heldur breytt neinu milli þeirra einstöku lífrænu efnasambanda innbyrðis sem innihalda fosfór.

Fyrrgreind niðurstaða getur líka bent að einhverju leyti til að tiltölulega lítið muni vera um fosfór bundinn sem kalsíumfosfat í þessum jarðvegi. Í því sambandi er þó rétt að minna á að frá náttúrunnar hendi er jarðvegur af uppruna eins og hér tiltölulega snauður hlutfallslega, bæði hvað varðar kalsíum og aðrar umskiptanlegar steinefna-jónir, þrátt fyrir frekar „hagstætt“ sýrustig (pH), ef litið er á sýrustigið eitt og sér. Fosfór skolaður út með natríumhydroxíð-laun er fyrst og fremst kominn úr ýmiss konar járn- og álsamböndum jarðvegsins, en þekkt er að 50–70% af ólífrænum fosfór jarðvegsins kunni að vera bundinn í slíkum samböndum (Piper, 1950).

Í beinu framhaldi af þessu má svo sjá á 4. mynd greinilegt samband milli þessa „umskiptanlega“ fosfórs og þess sem bundinn er í lífrænum samböndum. Á þetta bæði við ræktað sem óræktað land, þótt sé ekki eins afgerandi þegar kemur að sundurleitri útjörðinni (4. mynd b). Og sömuleiðis er mjög ákveðið samhengi milli magns lífrænna efna og hins lífræna fosfórs (5. mynd), óháð því hvort litið er á magnið af lífrænum fosfór eða það skoðað sem hundraðshluti af heildarfosfórmagni jarðvegsins. Þetta bendir til að vinnuaðferðin sem notuð var gefi viðunandi mat á magni lífræns fosfórs í jarðveginum. Sé þetta greinilega samhengi síðan hugleitt með hliðsjón af ráðandi mótunaröflum

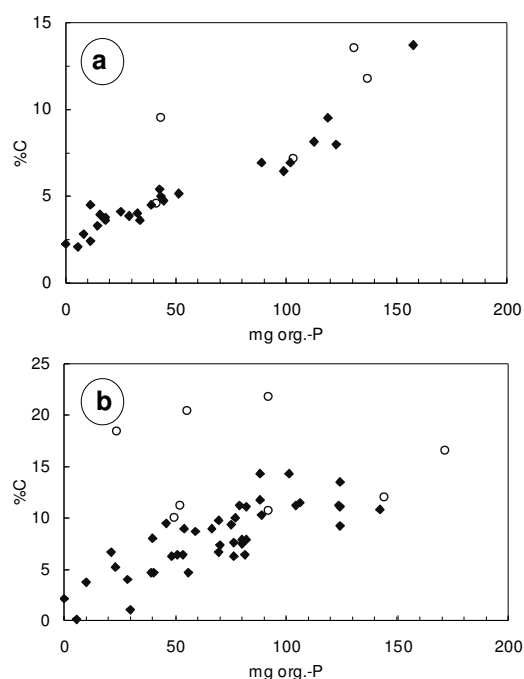


4. mynd. Samband fosfórs umskiptanlegum með NaOH (NaOH-P) og magns af lífrænum fosfór (org. P) í mg P/100 g jarðvegs; (a) í túnunum í Hraungerðishreppi og Landsveit og (b) úr úthaga í Landnámi Ingólfs. (◆ = þurrlendi, ○ = votlendi).

Figure 4. Relationship between NaOH-“exchangeable” P and organic P; (a) under cultivated permanent pasture in the counties Hraungerðishreppur and Landsveit in south Iceland and (b) in virgin soils in south-western Iceland. (◆ = freely drained soils, ○ = poorly drained soils).

jarðvegsins má líka velta því fyrir sér hvort fosfór gegni ekki sama hlutverki varðandi uppsöfnun lífræna sambanda í jarðveginum og hann gerir varðandi frjósemi jarðvegsins og sprettu jarðargróða almennt.

Á 5. mynd b (sbr. 5. mynd a) er athyglisvert að hluti mýrarsýnanna fylgir hinu almenna ferli varðandi tengslin milli magns lífræna efna og lífræns fosfórs. Þau þrjú sýni, sem mælast með mest af kolefni, þ.e.a.s. mest af lífrænum efnunum í mynd moldefna, skera sig þó áberandi frá, hver svo sem hinn beini orsakavaldur kann að vera. Hugsanlegt er í því sambandi, að um einhvers konar hliðrun í ferlinu sé að ræða, svipað og virðist vera á 3. mynd b (sbr. 3. mynd).



5. mynd. Samband kolefnis (%C) og lífræns fosfórs (org. P), mælt sem mg P/100 g jarðvegs; (a) í túnum í Hraungerðishreppi og Landsveit og (b) úr úthaga í Landnámi Ingólfs. (♦ = þurrlendi, ○ = votlendi).

Figure 5. Relationship between carbon (%C) and organic P (org. P) in mg/100 g soil; (a) under cultivated permanent pasture in the counties Hraungerðishreppur and Landsveit in south Iceland and (b) in virgin soils in south-western Iceland. (♦ = freely drained soils, ○ = poorly drained soils).

Jarðvegur sem inniheldur hlutfallslega lítið af ólífrænum fosfór, miðað við það sem bundið er í lífrænum samböndum, svarar vel við fosfór-áburði (sbr. Walker og Adams, 1958). Niðurstöðurnar sem hér er fjallað um falla þó ekki alveg heim og saman við þetta og er það sérstaklega áberandi hvað varðar Landsveitina. Þar er hlutdeild lífræns fosfórs tiltölulega mjög lítil og hvergi yfir 30 prósent af heildarfosfórforða jarðvegsins. Þó er fosfórþörfin ekki minni þar en annars staðar á Suðurlandi, ef viðunandi uppskera á að fást. Trúlegast má að einhverju leyti rekja þessa ólíku „hegðun“ til hins jarðfræðilega uppruna, þ.e.a.s. basaltsins, en stór hluti fokefnanna er basalt-gler og hinar ýmsu ummyndanir (móbergs-gler) þess. Þessi glerkenndu efni eru rík af járn (allt að 12% FeO) og alumíníum (allt að 16% Al₂O₃), er við veðrun breytast svo í ýmis konar járn- og alumíníumhydroxíð og allófan-leir og eiga það sameiginlegt að binda áborinn fosfór, sem að öðrum kosti gæti nýst gróðrinum. Fosfórbinding af svipaðri stærðargráðu er alþekkt þegar um eldfjallajarðveg af basaltuppruna er að ræða (Birrell, 1964).

Sé hlutfallslega lítið af fosfór jarðvegsins bundið í lífrænum samböndum, eins og í Landsveitinni, má trúlega taka það sem ákveðna vísbendingu um tiltölulega „ungan“ aldur jarðvegsins. Nefna má í þessu sambandi að hæsta hlutfallið milli kolefnis (C) og lífræns fosfórs (P), tæplega 400 C:P, reyndist í sýni þar sem áfok er hvað mest í Landsveitinni. Og almennt séð er C:P hlutfallið í Landsveitinni töluvert hærra en í Hraungerðishreppnum. Það bendir því vissulega til að jarðvegsþróunin í skilningi jarðvegsfræðinnar sé aðeins skammt á veg komin og jarðvegurinn í Landsveitinni sé enn „ungur“ að árum. Einnig ber að hafa í huga að í venjulegri sinu, sem ekkert er tekin að brotna niður, getur C:P hlutfallið verið 200–300. Það rennir stoðum undir að jarðveg með svipað eða hærra C:P hlutfall megi telja mjög skammt á veg kominn varðandi myndun moldefna („humus“) og því „ungan“ að árum. Í ljósi þessa er því eðlilegt að velta fyrir sér að hve miklu leyti endurtekið áfok kunni að hafa truflað annars

eðlilegt rotnunar- og ummyndunarferli hinna lífrænu efna jarðvegsins. Benda má á að ýmsir (Dalal, 1977) telja C:P hlutfall jarðvegsins gefa heldur ótrausta vísbendingu um rotnunarstigið í samanburði við kolefnis:köfnunarefnishlutfallið, hið svokallaða C:N hlutfall, en það er gjarna notað sem mælikvarði á rotnunarstig hins lífræna hluta hans. Í þessum tilteknu sýnum var köfnunarefni hins vegar ekki mælt. Af þeim sökum er erfitt að geta sér eitthvað meira til um hið raunverulega rotnunarástand og þýðingu áfoksins í því sambandi. Og sama á við um hugsanlega losun og hringrás fosfórsins milli lífrænna og ólífrænna efnasambanda jarðvegsins.

Til fróðleiks og samanburðar við aðrar norðlægar slóðir má nefna, þótt engan veginn sé um sams konar jarðveg að ræða, að Kaila (1963) í Finnlandi taldi C:P hlutfallið í lífrænum jarðvegi þar vera á bilinu 141–526 og þá hæstu gildin þar sem lífrænu efnin voru minnst niðurbrotin og ummynduð. En það verður líka að hafa í huga varðandi Landsveitina hvort og þá að hve miklu leyti takmörkuð úrkoma og brennisteinsskortur í tünnum sem þar hefur komið fram kunni að vera einhvers konar hemill í ummyndunar- og rotnunarferlinu, þannig að verulegur hluti lífrænu efna jarðvegsins líkist grasinu og sinu þess meira en raunverulegu moldefni, „humus“. Þá má telja athyglisvert í þessum samanburði hve mörg sýnanna úr Landnámi Ingólfs eru með C:P hlutfall nálægt 100–150 og fá sýni þar yfir. Í þessum sýnum var köfnunarefni líka mælt en af athugun á C:N hlutfalli þeirra sem skráð er í 4. töflu virðist ekki unnt að ráða í ákveðna þróun eða tilhneigingu.

Frekari samanburður þessara að mörgu leyti ólíku landsvæða leiðir ýmislegt fleira athyglisvert í ljós, þótt annars vegar sé um ræktað land að ræða og hins vegar að öllu leyti óræktaða útjörð. Ljóst er samt að varhugavert getur verið að líta á hreppana tvo af Suðurlandi sem eina heild, m.a. vegna þess hve jarðvegur þeirra er breytilegur og í sjálfu sér misgamall í jarðvegs-sögulegum skilningi. Í Landsveitinni er sendinn þurrlendisjarðvegur, sem er til þess að gera lítt vatnsheldinn, ráðandi. Landið þar hefur legið

undir stöðugri ágjöf áfoks, auk beinna gjóskufalla á stundum. Við þetta bætist svo að þarna er gjarna mjög þurrviðrasamt, svo að hamlað getur grassprettu. Jarðvegur Landsveitarinnar er því á sinn hátt í örari „uppbyggingu“ en jarðvegur í Hraungerðishreppnum og telst þar af leiðandi „yngri og óþroskaðri“. Þessi mismunur milli hreppanna tveggja kemur að öllu leyti vel fram á 1. töflu. Því er samt ekki að leynd að þrátt fyrir ætlaða „öldrung“ jarðvegs í Hraungerðishreppnum hefur þar samt orðið einhver síðari tíma „uppbygging“, þótt hún hafi aðeins verið í mjög takmörkuðum mæli. Nefna má annars vegar lítillsháttar áfok (moldryk) einstaka sinnum ofan af hálendinu og hins vegar er eitthvert leirset úr Hvítá frá tíma flæðingjanna meðan Flóaáveitan var starfrækt sem slík, nema á þeim tünnum sem hærra liggja.

Jarðvegur í Helgafellssveit á Snæfellsnesi má svo að líkindum telja elstan þess jarðvegs sem hér er fjallað um í jarðvegs-sögulegu tilliti, lausan við áfok og gjóskuföll, en jafnframt á töluvert öðrum og þéttari berggrunni en sunnalands. Jarðvegur Landnámsins virðist svo að flestu leyti geta fallið á milli þessara tveggja landsvæða með tilliti til aldurs.

Samanburður á meðaltölunum fyrir Suðurland og Snæfellsnes í 1. töflu gefur ennfremur ákveðna vísbendingu um mun milli landshluta þegar sýni hvors landshluta fyrir sig eru tekin sem ein heild, þrátt fyrir innbyrðis mun milli hinna tveggja sunnlensku hreppa sem bent var á að ofan. Hins vegar er kannski erfiðara að meta gildi meðaltalna ef jarðveginum er skipt í þurrlendi annars vegar og mýri hins vegar, vegna þess hve fá sýni liggja að baki öðrum hvorum flokknum, t.d. eru bara þrjú skráð þurrlendisýni úr Helgafellssveit á Snæfellsnesi. Þessu til víðbótar er svo óvissa varðandi innbyrðis mat og greiningu í jarðvegsflokka. Í því sambandi má benda á að tilfinning manna getur verið mjög einstaklingsbundin gagnvart því hvenær skilji á milli mýrarjarðvegs annars vegar og blauts móajarðvegs (gras- eða flagmóa) hins vegar, svo að eitt dæmi sé nefnt, en hvað sem fyrrgreindum atriðum líður er ljóst að landshluta- og héraða-

4. tafla. Einstakir sýnatökustaðir úr Landnámi Ingólfs ásamt kolefnisinnihaldi (%C), heildarmagni lífræns fosfórs (mg P/100 g), hundraðshluta lífræns fosfórs (% lífr. P), fosfór leysanlegum í brennisteinssýru (mg H₂SO₄-P/100 g), natriumhydroxíð umskiptanlegum fosfór (mg NaOH-P/100 g), kolefnis-fosfór hlutfalli (C:P) og kolefnis-köfnunarefnis hutfalli (C:N), svo og sýrustgi (pH).

Table 4. Localities and % organic C, org. P mg/100 g, % org. P, H₂SO₄-soluble P mg/100 g, NaOH-exchangeable-P mg/100 g, C:P ratio, C:N ratio and pH in individual samples of virgin soils in south-western Iceland.

Sýnatökustaður Locality	%C	Lífr. P—Org. P mg/100g	%	NaOH-P mg/100g	H ₂ SO ₄ -P mg/100g	C:P	C:N	pH
Hlíðarvatn	5,26	23	33,38	10,61	45,9	229	19,34	6,45
Þórkötlustaðir	7,29	70,4	40,18	80,35	104,8	103	13,63	5,8
Þorlákshöfn	0,17	5,3	10,19	3,79	46,7	32	24,29	6,9
Hafnaheiði	4,69	39	57,27	17,81	29,1	120	12,51	6,0
Staður við Grindavík	6,24	48,2	51,66	20,85	45,1	129	12,48	6,05
Garðskagi – Útskálar	4,72	55,8	51,38	34,87	52,8	84	11,95	6,45
Vatnagarðar	6,65	69,6	45,73	27,29	82,6	95	11,73	5,8
Álftanes	7,56	76,5	58,8	27,67	53,6	99	12,75	6,15
Vindheimar	2,09	0	0	17,06	85,7		10,3	6,0
Brautarholt	6,39	81,1	53,01	20,85	71,9	79	11,31	5,75
Afstapahraun	11,09	81,9	70,42	19,71	34,4	135	16,68	5,45
Njarðvíkurheiði	14,37	87,9	72,29	58,75	33,7	163	15,98	5,65
Varmá	3,97	28,3	37,38	20,85	47,4	140	21,58	5,9
Gljúfur	6,48	53,6	54,31	36	45,1	121	12,68	5,5
Kapelluhraun	14,28	101	72,92	21,6	37,5	141	17,14	5,5
Krísuvíkurborg	7,92	80,3	62,49	24,64	80,3	99	14,4	5,9
Afstapahraun	6,66	21,4	35,43	15,16	39	46	19,03	5,8
Flekkudalur	10,23	88,8	66,32	42,45	45,1	115	14,51	6,05
Kvennagönguhólar	7,94	81,8	54,28	44,34	68,9	97	15,27	6,1
Gufudalur	6,24	76,5	63,28	18,95	44,4	82	12,48	5,5
Fagradalsfjall	1,05	29,8	42,82	14,4	39,8	35	12,07	6,55
Húsfell – I	11,19	78,8	61,32	32,22	49,7	142	16,22	5,7
Húsfell – II	8,01	39,8	46,88	22,74	45,1	201	18,29	5,85
Raufarhólsheilir	6,48	51,2	41,32	29,56	51,2	126	14,86	5,95
Flekkudalur	4,67	40,5	37,82	30,32	66,6	115	14,73	6,2
Þormóðsdalur	8,74	58,9	43,76	31,08	75,7	148	16,55	5,65
Herdísarvík	10,82	142,3	74,7	33,35	48,2	76	15,94	5,95
Svínahraun	9,73	69,6	52,89	31,08	62	140	15,13	5,5
Mosfellsheiði – I	7,53	80,3	55,84	27,29	63,5	94	13,14	6,15
Mosfellsheiði – II	9,3	75	58	27,29	54,3	124	15,32	5,7
Mosfellsheiði – III	8,99	66,6	51,19	30,32	63,5	135	13,34	5,85
Ingólfsfjall	3,81	10	12,56	34,11	69,6	381	15,49	6,15
Litli Meitill	9,47	45,9	38,22	28,43	74,2	206	15,4	5,45
Skálafell, Esja	10,00	77,3	59,42	24,64	52,8	129	12,18	5,85
Skálafell, Hellisheiði	9,02	54,3	44,91	30,32	66,6	166	18,79	5,95
Brynjudalur	11,54	106,4	66,21	37,9	54,3	108	14,99	5,6
Bleikdalur	13,47	124	68,09	29,56	58,1	109	14,98	5,45
Hagavík – I	9,18	124	68,09	41,69	58,1	74	13,66	5,6
Hagavík – II	11,17	104,1	59,15	53,82	71,9	107	14,12	5,55
Hagavík – III	11,23	123,9	69,22	34,11	55,1	91	13,34	5,75
Hagavík – IV	11,15	124	64,82	39,8	67,3	90	14,15	5,7
Hagavík – V	11,82	88	58,98	32,22	61,2	134	16,26	5,4
Vallá	21,92	91,8	60,59	20,85	59,7	239	20,43	4,85
Þúfa í Ölfusi	18,41	23,7	53,38	21,98	20,7	777	18,23	5,4
Torfastaðir	20,39	55,1	59,5	22,74	37,5	370	22,34	5,25
Saurbær, Esja	10,03	49,7	51,99	18,95	45,9	202	12,2	5,25
Hvaleyri í Kjós	16,54	171,4	67,48	67,46	82,6	96	13	5,2
Hafravatn	11,97	143,8	78,67	29,56	39	83	12,43	6,1
Stíflisdalur	11,28	52	67,97	29,56	24,5	217	14,26	5,75
Stardalur	10,73	91,8	64,15	25,77	51,3	117	14,08	5,0

munur er til staðar varðandi einstaka efnaþætti túnajarðvegsins (Bjarni Helgason, 1965) og tengjast í senn jarðfræði og legu landsins, ásamt veðurfari.

Fyrr var nefnt í sambandi við 2. töflu að í túnnum sunnanlands og á Snæfellsnesi virtist kolefni lækka með aldri túnanna, þótt ekki væri það sérstakt viðfangsefni í þeirri rannsókn sem hér er fjallað um. Samkvæmt rannsóknaraðferðinni sem hér var notuð er litið á kolefni sem mælikvarða á magn moldefna („humus“) í jarðveginum. En með moldefnum er vísað til þess að lífrænu efni jarðvegsins séu þar stödd í niðurbrots- og rotnunarferlinu að þau séu óþekkjanleg með öllu hvað varðar uppruna. Tvær skýringar virðast mögulegar í þessu sambandi. Annars vegar kann lækkinun að vera raunveruleg afleiðing ræktunar, eins og alþekkt er í öðrum löndum, og tengist þá auknu niðurbroti hinna lífrænu efna væntanlega af völdum meiri örverustarfsemi. Væntanlega fylgir því að eitthvað af þeim fosfór sem þannig losnar færast að minnsta kosti tímabundið yfir í ólíf-ræn efnasambönd.

Hinn möguleikinn er að yngri túnin, sem hér um ræðir, séu til dæmis að einhverju leyti á landi eins og mýrlendi, er áður þótti illmögulegt að vinna til ræktunar, og séu af þeim sökum ríkari af lífrænum efnum. Almennt aukin hlutdeild mýrartúnanna í ræktuninni, eins og víða varð, gæti bent til þessa og er því ekki unnt að hafna þeim möguleika að svo stöddu, þótt efast megi um hann.

Hér þarf því nánari rannsóknir á hvað gerist raunverulega við áframhaldandi ræktun í einstökum mýrartúnum þegar til lengri tíma er litið miðað við að framræsla þeirra haldist í lagi. Og þetta á ekki síður við um fosfórástand þessara túna, enda hefur framræslan ein og sér ekki bara áhrif á hlutdeild lífræns fosfórs í jarðveginum heldur líka áhrif á önnur fosfórsambönd hans og hvernig þau binda eða eftir atvikum leysa fosfór úr læðingi. Annars staðar hefur líka verið sýnt fram á (Condrón o.fl., 1990) að t.d. breytingar á innbyrðis hlutföllum hinna ýmsu lífrænu fosfórsambönda eru háðar rakastigi jarðvegsins og gróðurfari og þar með

væntanlega líka ræktunarferlinu ef um ræktað land er að ræða.

Almennt séð er líka ljóst að öll endurvinnsla túna hefur mikil og afdrifarík áhrif á fosfórbúskap þeirra. Annars vegar er það spurningin um hvort og hvernig fyrirbyggjandi fosfórförði þeirra nýtist og hins vegar hverju þurfi að bæta við til að viðhalda viðunandi uppskeru. Í þessu sambandi má benda á, þótt um allt öðru vísi jarðveg sé að ræða, að í langtímatilraunum erlendis hafa fengist harla misvísandi niðurstöður varðandi áhrif fosfóraburðar á magn lífræns fosfórs í jarðveginum (Wier og Black, 1968). Er þar ýmist um að ræða að hlutur lífræns fosfórs hafi haldist óbreyttur, þrátt fyrir langvarandi áburðargjöf, þótt hitt sé algengara að hlutur hans aukist og þá væntanlega sem afleiðing af fosfórupptöku vegna meiri rótarvaxtar samfara aukinni grassprettu. Þetta atriði hefur líka verið lítillaga kannað hér og gefst væntanlega tækifæri til að gera grein fyrir þeim athugunum síðar.

Talið hefur verið að búfjáraburður geti dregið úr áhrifum járns (Fe) og alúmíníum (Al) í jarðvegslausninni, þannig að fosfórin verði „hreyfanlegri“ (Iyamuremye o.fl., 1996) á þann veg að nýting hans batni. Það mundi því vera mjög forvitnilegt, með hliðsjón af aukinni notkun búfjáraburðar, að rannsaka sérstaklega áhrif hans í svo járn- og alúmíníum-ríkum jarðvegi sem jarðvegur af basalt uppruna er.

HEIMILDIR

- Birrell, K.S.**, 1964. Some properties of volcanic ash soils. *FAO/UNESCO, World Soil Resources Report* **14**: 74–81.
- Bjarni **Helgason**, 1959. *A Study of some Soils in Southwestern Iceland* (Ingólf's Settlement). PhD-ritgerð, University of Aberdeen.
- Bjarni **Helgason**, 1963. Basaltic soils of Southwest Iceland I. *Journal of Soil Science* **14**: 64–72.
- Bjarni **Helgason**, 1965. Skógræktin og íslenskur jarðvegur. Í: *Ársrit Skógræktarfélag Ísland 1965*: 25–31.
- Bjarni **Helgason**, 1968. Basaltic soils of Southwest Iceland II. *Journal of Soil Science* **19**: 127–134.

- Bjarni **Helgason**, 1981. Brennisteinsskortur á Suðurlandi? *Fréttabréf Búnaðarsambands Suðurlands*, feb. 1981.
- Bjarni **Helgason**, 1994. Sulphur deficiency in Iceland. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences Supplement 15*: 51–56.
- Bjarni **Helgason**, 1998. Organic phosphorous in Icelandic soils. *Kungliga Skogs- och lantbruksakademiens tidskrift 137(7)*: 59–67.
- Björn **Jóhannesson**, 1959. Fosfórpörf túna. *Freyr 55*: 365.
- Björn **Jóhannesson**, 1960. *Íslenskur jarðvegur*. Menningarsjóður, Reykjavík.
- Chater**, M. & G.E.G. **Mattingly**, 1980. Changes in organic phosphorous content of soils from long-continued experiments at Rothamsted and Saxmundham. Rothamsted Experiment Station, Harpenden, England, *Rothamsted Experiment Station Report 1979(2)*: 24–61.
- Condrón**, L.M., E. **Frossard**, H. **Tiessen**, R.H. **Newman** & J.W.B. **Stewart**, 1990. Chemical nature of organic phosphorous in cultivated and uncultivated soils under different environmental conditions. *Journal of Soil Science 41*: 41–50.
- Dalal**, R.C., 1977. Soil organic phosphorous. Í: *Advances in Agronomy 29* (ritstj. N.C. Brady): 83–117.
- Dormaer**, J.F. & G.R. **Webster**, 1964. Losses inherent in ignition procedure for determining total organic phosphorous. *Canadian Journal of Soil Science 44*: 1–6.
- Friðrik **Pálmason** & Bjarni **Helgason**, 1990. Samanburður á aðferðum við greiningu á nýtanlegum fosfór og kalí í jarðvegi. *Búvísindi 3*: 3–12.
- Iyamuremye**, F., R.P. **Dick** & J. **Baham**, 1996. Organic amendments and phosphorous dynamics: III. Phosphorous speciation. *Soil Science 161*: 444–551.
- Jackson**, E.A., 1966. Phosphorous fertilizer research in Australia. *CSIRO Bulletin 234*.
- Jackson**, M.L., 1958. *Soil Chemical Analysis*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ.
- Kaila**, A., 1963. Organic phosphorous in Finnish soils. *Soil Science 95*: 38–44.
- Mortensen**, J.L. & F.L. **Himes**, 1964. Soil organic matter. Í: *Chemistry of the Soil* (ritstj. F.L. Bear). 2. útg. Reinhold Publishing Corporation, New York: 206–241.
- Olsen**, S.R., C.V. **Cole**, F.S. **Watanabe** & L.A. **Dean**, 1954. Estimation of available phosphorous in soils by extraction with sodium bicarbonate. *USDA Circular 939*.
- Olsen**, S.R. & L.E. **Sommers**, 1982. Phosphorous. Í: *Methods of Soil Analysis*. Part 2 (ritstj. A.L. Page). 2. útg. Soil Science Society of America, Madison: 403–430.
- Piper**, C.S., 1950. *Soil and Plant Analysis*. University of Adelaide, Adelaide, Australia.
- Russell**, E.W., 1973. *Soil Conditions and Plant Growth*. 10. útg. Longmans, Green, New York.
- Saunders**, W.M.H. & E.G. **Williams**, 1955. Observations on the determination of total organic phosphorous in soils. *Journal of Soil Science 6*: 254–267.
- Sharpley**, A.N. & S.J. **Smith**, 1983. The distribution of phosphorous forms in virgin and cultivated soils and potential erosion losses. *Soil Science Society of America Journal 47*: 581–586.
- Sharpley**, A.N. & S.J. **Smith**, 1985. Fractionation of inorganic and organic phosphorous in virgin and cultivated soils. *Soil Science Society of America Journal 49*: 127–130.
- Walker**, T.W. & A.F.R. **Adams**, 1958. Studies on soil organic matter: 1: Influence of phosphorous content of parent material on accumulations of carbon, nitrogen, sulfur and organic phosphorous in grassland soils. *Soil Science 85*: 307–318.
- Walker**, T.W., B.K. **Thapa** & A.F.R. **Adams**, 1959. Studies on soil organic matter. 3: Accumulation of carbon, nitrogen, sulfur, organic and total phosphorous in improved grassland soils. *Soil Science 87*: 135–140.
- Walkley**, A., 1947. A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soils – effects of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. *Soil Science 63*: 251–264.
- Wier**, D.R. & C.A. **Black**, 1968. Mineralization of organic phosphorous in soils as affected by addition of inorganic phosphorous. *Soil Science Society of America Proceedings 32*: 51–55.
- Williams**, E.G. & A.B. **Stewart**, 1941. The colorimetric determination of readily soluble phosphate in soils. *Journal of the Society of Chemistry Industry 60*: 291–297.

Handrit mótekið 20. nóvember 2002,
samþykkt 11. desember 2002.