



Slutrapport

Långsiktig fosforförsörjning från mark – utvärdering av P-AL och betydelsen av stabila fosforformer

Projektnummer: O-15-23-311

Projektperiod: 2015-07-01 – 2019-12-31

Huvudsökande:

Jon Petter Gustafsson, SLU, Institutionen för mark och miljö

Medsökande:

Barbro Ulén, SLU, Institutionen för mark och miljö
Holger Kirchmann, SLU, Institutionen för mark och miljö
Gunnar Börjesson, SLU, Institutionen för mark och miljö
Line Strand, Hushållningssällskapet Uppland
Hans Augustinsson, Hushållningssällskapet Östergötland

Del 1: Utförlig sammanfattning

Summary in English

The overall aim of this project was to improve our knowledge on the exchange of phosphorus between the soil solution and the solid phase so that current fertilization recommendations can be improved. This involved e.g. an evaluation of the Olsen-P and P-AL tests for the estimation of labile phosphorus (P), an analysis of the rate of exchange between the labile and stable P pools, and development of mathematical models able to predict the P flux into and from the stable P pools, which in turn could be used in models for fertilizer recommendations.

The results showed that while Olsen-P was consistently lower than isotopically exchangeable P (IEP), P-AL was usually (but not always) higher. The ratio of Olsen-P to IEP was less variable than the ratio of P-AL to IEP. Further, the $^{33}\text{P}/^{31}\text{P}$ ratios of the Olsen-P extracts were much closer to those in CaCl_2 extracts. Moreover, the amount of P retained by a series of Fe oxide-impregnated filter papers was strongly related to Olsen-P but much more weakly so to P-AL. All these evidence suggest that the AL test partly extracts poorly soluble P forms that are not available to plants; this is the case not

only in alkaline carbonate-containing soils but also in other soils. On the other hand, the Olsen test extracts only a sub-pool of labile P; however, it is more closely related to easily soluble P forms. Hence, Olsen-P is very probably better suited for classification in fertilizer recommendations than P-AL.

An evaluation of extracted P in archived soils from long-term fertility experiments show that the change in stable P over a 50-year period is large, i.e. larger than the corresponding change of labile P. This shows that the stable P pool is highly dynamic over a long-term perspective, at least in the Swedish soils investigated. Hence, it is desirable to somehow consider the role of stable P for long-term P nutrition in soils, when fertilizer recommendations are improved. Models are being developed to simulate the dynamics of P under different fertilizer loads, and it is foreseen that such models can contribute to the development of improved fertilizer recommendations.

Based on the project results it can be recommended that a review should be undertaken of the current fertilizer recommendations concerning the use of P-AL for classification purposes. The results from this project strongly suggest that Olsen-P would be a better choice under Swedish conditions, not only for calcareous soils. Moreover, the role of stable P for long-term P availability for crops deserves to be more closely investigated, so that fertilizer recommendations can be fine-tuned in the future.

Del 2: Rapporten (max 10 sidor)

Inledning

Det finns starka ekonomiska och miljömässiga skäl att ha en noggrant övervägd och vetenskapligt baserad strategi för fosforgödsling av mark. För jordar med låg fosforstatus kan lantbrukaren tjäna hundratusentals kronor på att öka givorna för att öka tillväxten. Dock, när en viss nivå överskrids (vid det s.k. UPAL-värdet), blir utgifterna för gödslingen större än de ekonomiska vinsterna (se t.ex. Bertilsson m.fl. 2005), och dessutom ökar risken för fosforutlakning till akvatiska miljöer. En optimal tillförsel av fosfor och näringsämnen kräver en ökad kunskap om de mekanismer som styr fosfors beteende i mark, så att gödslingsrekommendationerna kan förbättras.

I marken återfinns fosfor både i oorganiska och i organiska former. Även om organiskt fosfor är viktigt för den kortsiktiga fosforomsättningen i mark är den oorganiska fosfor (dvs fosfat) sannolikt den mest betydelsefulla formen av fosfor på sikt för fosfordynamiken (Eriksson m.fl. 2016). Fosfatet kan bindas till jordpartiklarna genom adsorption till järn- och aluminiumföreningar och därmed långsiktigt utgöra ett förråd som grödorna kan använda för sin fosforförsörjning. Ett problem i sammanhanget är dock att en stor del av den adsorberade fosfor är svårtillgänglig, sannolikt på grund av att den har tagit sig in i mikroporer och inuti aggregat. Denna del av fosforförrådet

brukar betecknas som *stabil*, i motsats till det *labila* förråd som har närmare kontakt med marklösningen och som grödor kan ta upp under loppet av en växtsäsong.

I Sverige baseras dagens gödslingsrekommendationer på markens P-AL-klass och på grödan som odlas (Jordbruksverket, 2019). P-AL är ett exempel på ett laborietest som avses beskriva jordens innehåll av labilt fosfor. Testet baseras på en extraktion med surt ammoniumlaktat (Egnér m.fl. 1960). Internationellt finns många andra tester för detta ändamål (för en översikt gällande Europa, se Jordan-Meille m.fl. 2012). Ett av de vanligaste alternativen, och som används i t.ex. Danmark, är Olsen-P (Olsen m.fl. 1954), som är en extraktion med natriumbikarbonat vid pH 8. Användningen av P-AL vid klassningen är inte oomtvistad, bl.a. överskattar P-AL jordens innehåll av labilt fosfor i jordar med högt pH och som innehåller karbonater (Otabbong m.fl. 2009). Det finns därför skäl att närmare studera om P-AL-testet verkligen återger det labila förrådet på ett bra sätt, och undersöka huruvida Olsen-P kan vara ett bättre alternativ.

I gödslingsrekommendationerna tar man inte hänsyn till markens stabila fosforförråd, även om detta i många fall kan vara flera gånger större än det labila. Med andra ord vilar rekommendationerna på antagandet att den stabila fosfor har en mycket låg tillgänglighet under en grödas tillväxt. Vilket "fel" detta antagande orsakar är inte känt eftersom den stabila fosfors omsättningshastighet är dåligt känd.

Syftet med detta projekt var därför att förbättra vår kunskap om utbytet av fosfor (P) mellan marklösningen och det fasta materialet i svensk jordbruksmark, så att nuvarande rekommendationer för P-gödsling kan förbättras. Några delmål med projektet, som vart och ett svarar mot ett arbetspaket (WP), var att:

WP1. Utvärdera i vilken mån två vanligt förekommande tester, AL (surt ammoniumlaktat) och Olsen (bikarbonat), korrekt förmår beskriva halten labilt fosfor i svensk åkermark

WP2. Bestäm utbyteshastigheter mellan det labila förrådet och det mindre tillgängliga, oorganiska, fosforförrådet, med hjälp av resultat från arkiverade jordar.

WP3. Med hjälp av resultat från 1 och 2 ovan konstruera modeller för att mer korrekt kunna förutsäga hur mycket fosfor som på sikt är växttillgängligt, både från det labila förrådet och från delar av det stabila.

WP4. Utveckla ett datorbaserat verktyg som kan användas för att förbättra dagens gödslingsrekommendationer, baserat på resultaten från 1-3 ovan.

Arbetet har samordnats med ett doktorandprojekt (Sabina Braun) som ännu inte har avslutats då slutrapporten skrivs. SLU delfinansierar projektet genom att bekosta Sabina Brauns sista år. Planerat disputationdatum är i december 2020. Detta innebär att arbetsuppgifterna i projektet ännu inte är helt slutförda. Statusen för arbetsuppgifterna december 2019 redovisas kort för nedan.

WP1. Klart, har resulterat i en publicerad artikel (Braun m.fl. 2019) och i ett ytterligare manuskript (Braun m.fl. 2020).

WP2. Rådata finns, men är ännu inte helt bearbetade. Arbetet har breddats till att även kunna uppskatta massbalanser från bördighetsförsöken med hjälp av skördedata. Ett manuskript kommer att ingå i Sabina Brauns avhandling.

WP3. Pågående arbete med Sabina Braun och med post-dok-forskaren Florian Barbi. Arbetet kommer att utmytna i ett manuskript som presenteras i Sabina Brauns avhandling (men med Barbi som huvudförfattare).

WP4. Arbete med ett datorbaserat verktyg inte påbörjat, det är kanske inte så troligt att vi hinner med detta under 2020. Projektledningen har prioriterat att i detta skede istället lyfta in massbalanser från bördighetsförsöken (arbetspaket 2) i detta projekt.

Material och metoder

Jordar

I projektet har jordar från bördighetsförsöken använts, från kvävegödslingsnivån 3, och från olika fosforgödslingsnivåer från A3 (ingen P-giva) till D3 (den högsta P-givan). Jordarna provtogs vid två tillfällen, 2015 och 2018, från A-horisonten, dvs från de översta 20 cm. Tabell 1 visar jordegenskaper för de prover som togs 2015 och som används av Braun m.fl. (2019). Se artikeln för en mer utförlig redogörelse av de markkemiska egenskaperna och för detaljer rörande provtagning och analyser.

Tabell 1. Viktigare kemiska egenskaper för de jordar som användes i projektet

Försök	Led	pH (H ₂ O)	Karbonat C	Org. C	Al _{ox}	Fe _{ox}
			(%)		(mmol P/kg)	
Ekebo	A3	6.98	0.01	2.42	71.0	34.7
	D3	7.06	0.01	2.34	77.5	39.2
Fjärdingslöv	A3	6.81	0.01	1.23	30.3	32.1
	D3	6.79	0.01	1.84	29.9	27.1
Vreta kloster	A3	6.84	0.01	1.87	60.0	29.0
	D3	6.84	0.01	2.02	66.2	34.8
Högåsa	A3	5.97	0.01	1.92	72.1	53.2
	D3	6.41	0.01	2.06	77.9	52.3
Kungsängen	A3	6.58	0.08	2.23	55.0	152
	D3	6.50	0.03	2.07	55.8	163
Fors	A3	8.32	0.47	1.56	31.5	28.7
	D3	7.83	0.77	1.71	29.2	30.9

Viktigare metoder i WP1, Braun m.fl. (2019)

- Bestämning av fosforformer med XANES-spektroskopi (delvis gjort redan av Eriksson m.fl. 2016)
- P-AL och Olsen-P. Fosfor i AL-extrakten bestämdes med ICP (enligt nuvarande praxis) medan fosfor i Olsen-extrakten bestämdes kolorimetriskt.
- Det isotoputbytbara P-förrådet över 6 d (E, 6d) bestämdes genom att ^{33}P (som fosfat) tillsattes till jordsuspensioner med 0,005 M CaCl_2 och jämviktades i 6 d. Efter centrifugering och filtrering mättes ^{33}P i vattenfasen med scintillationsräknare. Summa löst $\text{PO}_4\text{-P}$ (kolorimetriskt) mättes också.
- För att undersöka hur starkt tillsatt ^{33}P bundits i jorden extraherades den kvarvarande jorden med i tur och ordning vatten, 5 mM CaCl_2 , Olsen-lösning, AL-lösning samt ammoniumoxalat vid pH 3.

Viktigare metoder i WP1, Braun m.fl. (2020)

- Järnoxidtäckta filterpapper preparerades enligt van Rotterdam m.fl. (2009). Papperen sänktes ner i jordsuspensioner med jord som blandats med 0,005 M CaCl_2 . Efter specifika jämviktningstider togs papperen upp och ersattes med nya papper. Använda papper löstes upp i 0,5 M H_2SO_4 för att lösa upp avskild fosfor, och analyserades senare med ICP.
- Isotoputbytbart P på samma jordar bestämdes enligt Frossard & Sinaj (1997), med E-värden efter 1 minut, 1 dag och 1 månad.
- Anpassningen av data till två olika modeller, tvåförrådsmodellen av Lookman m.fl. (1995) och en enkel exponentiell modell, undersöktes.

Viktigare metoder i WP2, historiska data

På utvalda arkiverade prover bestämdes:

- Olsen-P
- Oxalatlösligt P.
- Samt andra ”stödjande” jordegenskaper.

Olsen-P avsågs ge ett mått på det labila fosforförrådet. Dock, baserat på resultat i WP1, så antogs att det labila förrådet kan approximeras med Olsen-P \times 2. Oxalatlösligt P antogs kunna beskriva summan av de labila och stabila fosforförråden.

För massbalanser för fosfor från samma försök användes skördedata från samma lokaler.

Viktigare metoder i WP3, utveckling av modell

Flera olika modeller för att beskriva dynamiken i det stabila fosforförrådet utformas i utvecklingsmiljön R, och testas gentemot de data som producerats i WP2. Den modell som preliminärt tros ge de bästa resultaten är en modell som baseras på Ficks diffusionslag och som använder Freundlichekvationen för att beskriva fosforns

adsorption. I modellen definieras åtta olika delförråd, var och en med en unik diffusionskonstant, som antas vara sammanlänkade med varandra på ett systematiskt sätt för att reducera antalet optimerade parametrar.

Resultat och diskussion

WP1. Vilket test återspeglar det labila fosforförrådet bäst, P-AL eller Olsen-P?

Det samlade intrycket från projektet är att Olsen-P på ett betydligt bättre sätt än P-AL återspeglar det labila förrådet – detta gäller även i jordar med lägre pH som inte innehåller någon kalk, och alltså inte endast i kalkinnehållande jordar. Samtidigt står det klart att Olsen-testet endast extraherar en viss del av det labila förrådet, kanske 50% i många fall. Konsekvensen av detta är att Olsen-P skulle vara utmärkt att använda i klassning istället för P-AL; däremot, vill man ha en uppskattning av *storleken* av det labila förrådet måste en faktor användas tillsammans med Olsen-värdet, förslagsvis 2. Specifika resultat som ansluter till denna frågeställning redogörs för nedan.

- För gödslade jordar ligger Olsen-P-värdena systematiskt en faktor 1,5 till 3 lägre än E-värdena, medan spridningen för kvoten mellan P-AL och E(6 d) är större, se Fig. 1); ofta (men inte alltid) har P-AL klart högre värden än E(6 d)
- Den specifika aktiviteten, dvs kvoten mellan ^{33}P och löst PO_4 i extrakten, var för Olsen-P betydligt mer lik den för kalciumkloridextrakt, än vad P-AL var. Det indikerar att P-AL extraherar fosforformer som inte annars är lösliga och därför knappast lättillgängliga för grödan (Braun m.fl. 2019).
- Den mängd fosfor som kan avskiljas med järnoxidtäckta filterpapper (P- Fe_2O_3) är mycket starkt korrelerad med Olsen-P, men betydligt sämre korrelerad med P-AL (Fig. 2). Samtidigt fanns ett starkt samband mellan P- Fe_2O_3 och isotoputbytbart P med $r^2 = 0.91$ (Braun m.fl. 2020).
- Studien med järnoxidtäckta filterpapper visade också att Lookman-modellen, som baseras på en uppdelning av den bundna fosfor i ett snabbt reagerande labilt förråd, och ett betydligt långsammare fosforupptagande stabilt förråd, kan beskriva fosforupptaget under några veckor tid väl.

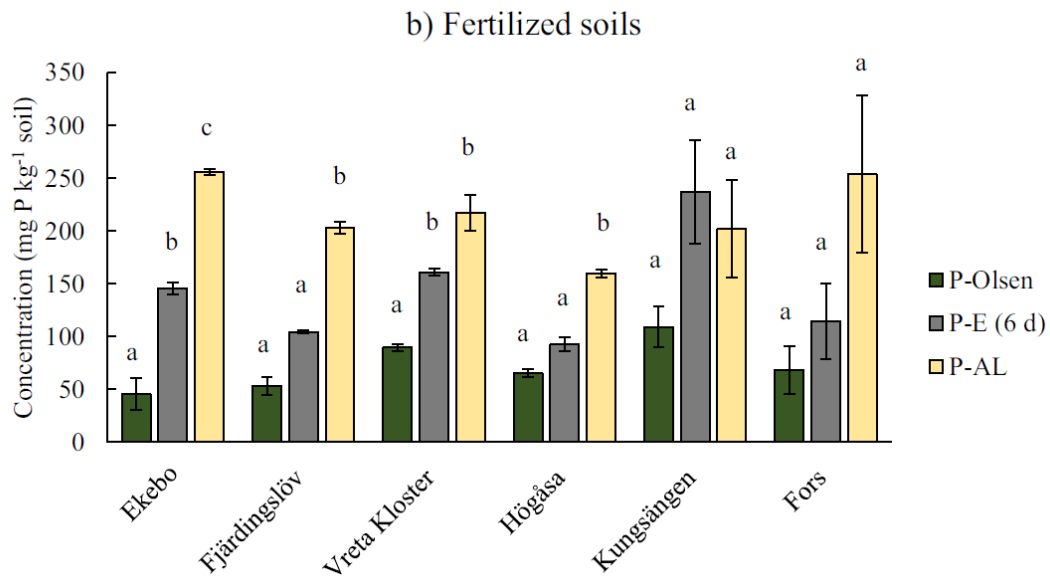


Fig. 1. Jämförelse mellan isotoputbytbar fosfor efter 6 d (E, 6 d) med resultat för Olsen-P och P-AL (från Braun m.fl., 2019).

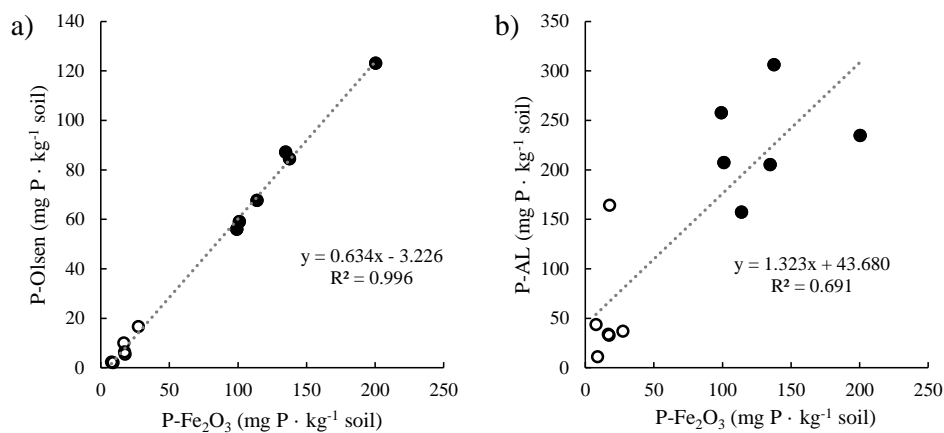


Fig. 2. Jämförelse mellan P-Fe₂O₃ och Olsen-P (a) respektive P-AL (b).

WP2. Är det stabila förrådet dynamiskt, enligt extraktionsdata från arkiverade prover?

Tabell 2. Utveckling av labila och stabila fosforförråd i Ekebo 1963-2018 (mg P kg⁻¹), som funktion av P-gödselgiva

Led	Labilt P		Stabilt P		Förändring Labilt P	Förändring Stabilt P
	1963	2018	1963	2018		
A3	61.5	18.8	456.3	366.2	-42.7	-90.1
B3	80.6	44.5	451.8	460.3	-36.1	8.5
C3	78.7	89.3	470.7	546.1	11.1	75.3
D3	104.3	137.3	449.1	646.9	33.1	197.8

Labilt P = Olsen-P × 2; Stabilt P = Oxalatlösligt P – labilt P.

Resultaten från detta arbetspaket, som ännu inte bearbetats i detalj, visar tydligt att det stabila fosforförrådet på några årtiondens sikt utgör en mycket betydelsefull källa och sänka för markens fosfor. Skillnaderna i respons kan illustreras med resultaten för Ekebo (Tabell 2): de är, sett till absoluta värden, betydligt större för det stabila förrådet än för det labila. Med andra ord är det sannolikt att det stabila förrådet bör beaktas för en helt korrekt bild av gödslingsbehovet.

I Sabina Brauns avhandling kommer dessutom skörderesultaten att tas in i bilden för att få en bild över massbalanserna för fosfor under en 50-årsperiod. Resultaten kommer att kunna ge information om hur stor P-gödselgiva som krävs för att få balans mellan ingående och summan av utgående fosfor (genom skörd) och nettolagring i bördighetsförsökens jordar.

WP3. Kan en modell utvecklas som beskriver utvecklingen av det stabila fosforförrådet i tiden?

Som antytts ovan bedrivs ett pågående arbete med att utveckla en modell baserat på diffusionskinetik och med hjälp av kunskap om gödselgivor och bortförslut genom skörd. En sådan modell kan i princip användas för att bedöma tillgängligheten av stabilt fosfor på kort och på lång sikt. I Figur 3 visas en lägesbild för Ekebo för A3, B3 och C3-leden för den modell vi för närvarande arbetar med. Modellen är dock under utveckling och resultatet kommer sannolikt att förändras innan arbetet är klart.

De viktigaste slutsatserna så här långt

- P-AL-testet överskattar sannolikt den på kort sikt tillgängliga fosfor i jorden, och variationen i kvoten mellan P-AL och isotoputbytbart P är större än den mellan Olsen-P och isotoputbytbart P.
- Kvoten mellan ^{33}P och ^{31}P i Olsen-P-extrakten ("den specifika aktiviteten") är i ganska god överensstämmelse med den i CaCl_2 -extrakt. För P-AL-extrakten är motsvarande kvot betydligt lägre, vilket indikerar att P-AL extraherar former av fosfor som inte är lösliga.
- Olsen-P extraherar dock en ganska låg andel av den växttillgängliga fosfor och utgör därför inte ett bra *kvantitativt* mått på det labila förrådet. Användning av en faktor 2 gör Olsen-P-värdena bättre jämförbara med isotoputbytbart P, åtminstone i gödslade jordar. Dock bör Olsen-P kunna utgöra en utmärkt grund för klassificering av jordar, både i samband med gödslingsrekommendationer, och för bedömning av risk för fosforläckage. Våra resultat styrker bilden av att P-AL sannolikt är betydligt sämre för detta ändamål eftersom testet delvis extraherar ej tillgängliga fosforformer, särskilt (men inte enbart!) i kalkinnehållande jordar.

- Analys av arkiverade prover visar tydligt att det stabila fosforförrådet på sikt är viktigt för grödans fosforförsörjning. Bättre kunskap om tillgängligheten av den stabila fosfor kan bidra till att förbättra träffsäkerheten i gödslingsrekommendationerna.

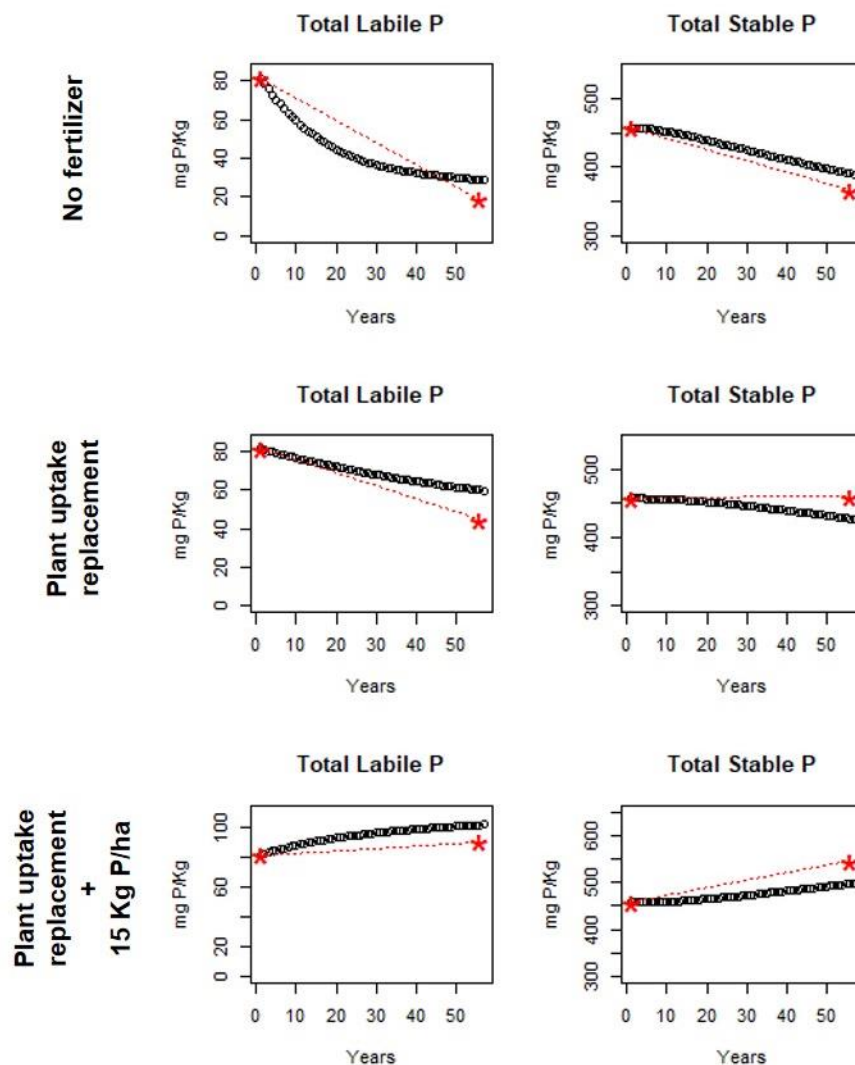


Fig. 3. Simulerade fosforförråd i Ekebo A3, B3 och C3 med hjälp av diffusionsmodell (svarta symboler) jämfört med uppmätta extraktionsdata (röda symboler, samma värden som i Tabell 2).

Nytta för näringen och rekommendationer

Ur näringens perspektiv tror vi att det på kort sikt viktigaste resultatet är att Olsen-P sannolikt beskriver labilt fosfor bättre än P-AL. Det bör kunna föranleda en omprövning, eller åtminstone en kritisk genomgång, av existerande gödslingsrekommendationer. Projektets resultat indikerar starkt att de existerande P-AL-klasserna inte är optimala. Användning av Olsen-P-klasser (som i t.ex. Danmark)

vore sannolikt bättre för att utforma träffsäkra rekommendationer som ger optimal avkastning samtidigt som risker för miljön (i form av fosforutlakning) minimeras.

En annan observation av långsiktig relevans för näringen är den stora betydelsen av det stabila fosforförrådet för grödans långsiktiga fosforförsörjning. Det betyder till exempel att de rekommenderade fosforgivorna bör kunna vara lägre för jordar där mycket fosfor upplagrats i det stabila förrådet på grund av tidigare stora fosforgivor, medan det omvända gäller för jordar som tidigare inte brukats intensivt och som har en naturligt låg fosforhalt. Här har projektet inte gått ända in i mål så att vi idag kan föreslå en strategi för att ta hänsyn till det stabila fosforförrådets betydelse. Vi hoppas att en del ytterligare framsteg kan göras under 2020 under Sabina Brauns sista år som doktorand. Vi tror dock att det är angeläget att forska vidare på detta tema.

Referenser

- Bertilsson, G., Rosenqvist, H., Mattsson, L. (2005). Fosforgödning och odlingsekonomi med perspektiv på miljömål. Naturvårdsverket Rapport 5518, Stockholm.
- Braun, S., McLaren, T., Frossard, E., Tuyishime, J.R.M., Gustafsson, J.P. (2020). Phosphorus desorption and exchange kinetics in Swedish agricultural soils. Inskickat manuskript.
- Braun, S., Warrinier, R., Börjesson, G., Ulén, B., Smolders, E., Gustafsson, J. P. (2019). Assessing the ability of soil tests to estimate labile phosphorus in agricultural soils: Evidence from isotopic exchange. *Geoderma*, 337, 350-358.
- Egnér, H., Riehm, H., Domingo, W. (1960). Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Böden. II. Chemische Extraktionsmethoden zur Phosphor- und Kaliumbestimmung. *Kungliga Lantbrukshögskolans Annaler* 26, 199-215.
- Eriksson, A., Hesterberg, D., Klysubun, W., Gustafsson, J. (2016). Phosphorus dynamics in Swedish agricultural soils as influenced by fertilization and mineralogical properties: Insights gained from batch experiments and XANES spectroscopy. *Science of The Total Environment*, 566, 1410-1419.
- Frossard, E., Sinaj, S. (1997). The Isotope Exchange Kinetic Technique: A Method to Describe the Availability of Inorganic Nutrients. Applications to K, P, S and Zn. *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 33(1-2), 61-77.
- Jordan-Meille, L., Rubaek, G.H., Ehlert, P.A.I., Genot, V. et al. (2012). An overview of fertilizer P recommendations in Europe: soil testing, calibration and fertilizer recommendations. *Soil Use and Management*, 28, 419-435
- Jordbruksverket (2019). Rekommendationer för gödning och kalkning 2019. Jordbruksinformation 18-2018. Jordbruksverket, Jönköping.
- Lookman, R., Freese, D., Merckx, R., Vlassak, K., van Riemsdijk, W. H. (1995). Long-term kinetics of phosphate release from soil. *Environmental Science & Technology*, 29(6), 1569-1575.
- Olsen, S., Cole, C., Watanabe, F., Dean, L. (1954). Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. USDA Circular, 939. US Gov. Print. Office, Washington.
- Ottobong, E., Börling, K., Kätterer, T., Mattsson, L. (2009). Compatibility of the ammonium lactate (AL) and sodium bicarbonate (Olsen) methods for determining available phosphorus in Swedish soils. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B—Soil and Plant Science*, 59(4), 373-378.
- van Rotterdam, A., Temminghoff, E. J. M., Schenkeveld, W. D. L., Hiemstra, T., van Riemsdijk, W. H. (2009). Phosphorus removal from soil using Fe oxide-impregnated paper: Processes and applications. *Geoderma*, 151(3-4), 282-289.

Del 3: Resultatförmedling

Vetenskapliga publiceringar	Braun, S., Warrinnier, R., Börjesson, G., Ulén, B., Smolders, E., Gustafsson, J. P. (2019). Assessing the ability of soil tests to estimate labile phosphorus in agricultural soils: Evidence from isotopic exchange. <i>Geoderma</i> , 337, 350-358.
	Braun, S., McLaren, T., Frossard, E., Tuyishime, J.R.M., Gustafsson, J.P. (2020). Phosphorus desorption and exchange kinetics in Swedish agricultural soils. Inskickat manuskript (WP1).
	Warrinnier, R., Goossens, T., Braun, S., Gustafsson, J.P., Smolders, E. (2018). Modelling heterogeneous phosphate sorption kinetics on iron oxyhydroxides and soil with a continuous distribution approach. <i>European Journal of Soil Science</i> , 69, 475-487. Kommentar: detta arbete använde de jordar som provtogs i SLF-projektet, även om det inte ingick i projektplanen, och har därför inte kommenterats ovan.
	Braun, S., McLaren, T., Kirchmann, H., Börjesson, G., Ulén, B., Gustafsson, J.P. (2020). Phosphorus balances and long-term significance of stable phosphorus in Swedish agricultural soils. Planerat manuskript (WP2).
	Gustafsson, J.P., Braun, S., Tuyishime, M., Adediran, G.A., Warrinnier, R., Hestberg, D. (2020). A probabilistic approach to phosphorus speciation in soils using P K-edge XANES spectroscopy with linear combination fitting. Inskickat manuskript. Kommentar: ingår inte i det egentliga SLF-projektet, men kan ses som en avläggare av detta. Det utnyttjar XANES-data som i projektet tagits fram för karaktärisering av jordarna.
	Barbi, F., Braun, S., Börjesson, G., Gustafsson, J.P. (2020) Modelling long-term dynamics of phosphorus in Swedish agricultural soils. Planerat manuskript (WP3).
Muntlig kommunikation	Braun, S. m.fl. 2017. Assessing the ability of soil P tests to estimate labile phosphorus in agricultural soils. Goldschmidt conference on geochemistry, Paris. Inbjuden presentation.
	Sabina Braun och Marius Tuyishime: posterpresentationer vid PSP6 i Leuven, Belgien, augusti 2018.
	Sabina Braun: presentation vid möte med Lovanggruppen 2018
Studentarbete	Tuyishime, J.R.M. (2016). Sequential phosphorus extraction using iron (hydr)oxide filter paper strips. MSc thesis. Institutionen för mark och miljö, SLU. https://stud.epsilon.slu.se/9291/1/tuyishime_m_160630.pdf
Övrigt	Fler presentationer kommer att äga rum under 2020. På grund av föräldraledighet har det varit få utåtriktade presentationer 2019. Nu när flera resultat har publicerats / är under publicering kommer presentationstakten att öka betydligt.