

Tredje steget i en 3-stegsraket – kalkens potential för struktur, växtnäring växtskydd och ekonomi

Anita Gunnarsson, Hushållningssällskapet Skåne; Åsa Olsson, Nordic Beet Research (NBR); Jens Blomquist, Inst. för Mark och Miljö, SLU, Uppsala; Lars Persson, Brandsberga gård

Inledning

Den övergripande målsättningen med detta projekt var att belysa kalkens potential i växtföljden och utröna vilka effekter som kalken har på markstruktur, växtnäringstillgång och uppkomst av sjukdomar. Grunden i projektet utgörs av 13 storskaliga kalkförsök utlagda på jordar i Skåne med från början högt pH och hög lerhalt. Försöken kalkades med kalkstensmjöl och släckt kalk alt. Nordkalk Fostop Struktur som är en blandprodukt mellan kalkstensmjöl och släckt kalk. Försöken var utlagda i olika geografiska områden för att täcka in den variation som finns vad gäller jordarter och geologiskt ursprung.

Stabilisering av leraggregat med strukturkalk (kalkprodukter med CaO eller Ca(OH)₂) sker på tre sätt: genom (1) basutbyte – Ca ersätter andra katjoner på lerkolloiderna, genom (2) murbrukbildning – Ca(OH)₂ reagerar med CO₂ och bildar kalciumkarbonat CaCO₃ som utgör bryggor mellan jordpartiklar, och slutligen genom (3) puzzolanreaktioner – starka cementerande föreningar bildas efter att leraggregaten delvis lösts upp vid de höga pH-värden som uppstår momentant. Tillsammans bidrar dessa tre reaktioner till en ökad aggregatstabilitet (Choquette *et al.*, 1987). Miljömässiga fördelar är t.ex. mindre förlust av P (Ulén och Etana, 2014). För odlaren innebär detta att strukturkalk kan ge en finare aggregatsstorleksfördelning (Ledin, 1981) och mindre slamning och skorpbildning (Stenberg *et al.*, 2000).

Tillgängligheten av växtnäring i jorden påverkas av pH. Tillgängligheten av Fe, Mn, Cu, B och Zn minskar från pH 7 och uppåt, medan den ökar för Mo (Trouw, 1946 citerad av Eriksson, 2005). För N, K, S och Mg är tillgängligheten god mellan pH 7 och 8, medan tillgängligheten av P minskar vid pH >7,5 eller enligt Magnusson (2000) redan vid pH > 6,5. I 20 fältförsök i korn i Sverige tyder resultaten på att skörderesponsen av NPK ofta begränsas av Zn, Cu, Mn, B och/eller Mg (Frostgård och Olsson, 2012). Positiva effekter av kalkning kan alltså utebli om inte mikronäring tillförs. Radmyllning av N sänker pH i närheten av mineralgödseln vilket kan vara tillräckligt för att undgå mikronäringsbrist vid kalkning av alkalina jordar.

Jordburna växtsjukdomar påverkas av pH och Ca-koncentrationen i jord. Klumprotsjuka (*Plasmodiophora brassicae*) är en av de viktigaste och mest spridda sjukdomarna i områden med intensiv oljeväxtodling. Infektionen påverkas av vattenmättnad, pH, smittonivå, jordtyp och temperatur (Hamilton och Créte, 1978).

Rotdödare i vete orsakad av *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* har visat sig öka efter kalkning (Coventry och Kollmorgen 1987). Kalkning har i flera projekt visat sig minska rotbrand och höja skörden i sockerbetor.

Frågeställningar i projektet. Skörderesponsen av kalkning med kalkstensmjöl i sockerbetor har visat sig vara god på jordar med hög lerhalt och högt pH (Olsson *et al.*, 2018). För att studera vad responsen beror på i sockerbetor samt hur responsen ser ut i andra grödor i växtföljden lade vi nya försök på jordar med höga pH och höga lerhalter. Det gavs därmed tillfälle att även studera effekter av strukturkalk. Det saknas kunskap om 1.) positiva och negativa effekter av kalkstensmjöl och strukturkalk på grödorna i en växtföljd, 2.) hur negativa effekter av kalk på växtnäringstillgängligheten kan motverkas för att maximera avkastningen, 3.) hur jordar med varierande innehåll av olika lermineral påverkas av kalkprodukter, 4.) hur effektiv en blandprodukt är eftersom de flesta försök är genomförda med bränd (CaO) eller släckt kalk (Ca(OH)₂), 5.) hur kalkstensmjöl och strukturkalk påverkar sjukdomskomplexen i lerjordar.

I projektet har vi studerat några av dessa faktorer. Två kalkprodukter har undersökts: kalkstensmjöl (CaCO₃) och strukturkalk (Nordkalk Fostop Struktur, CaCO₃ och Ca(OH)₂). Målet var att mäta och analysera effekterna ur perspektiven markstruktur, växtnäring och växtskydd på stråsåd, oljeväxter, konservärt och potatis mellan två betgrödor. Viktigt var också en ekonomisk analys av åtgärderna och att ge en bild av för- och nackdelar.

Material och metoder

Försöksplan

Kalkförsöken lades ut med början hösten 2013 och totalt 13 platser kalkades enligt försöksplan under åren 2013–2015 (Tabell 1). I vårkorn kompletterades kalkbehandlingarna med växtnäingsstrategi (Tabell 2). Försöken utfördes på jordar med i genomsnitt 21 % lerhalt och pH 7,4 (Tabell 3). Året efter kalkning odlades sockerbeter på försöksplatserna. Upplägget var randomiserade blockförsök med 3 upprepningar. Första året, 2013, lades försöken över hela fälten med 24 meter breda strimmor och ca 500 meter långa. Under 2014 minskades storleken på försöken och gjordes då 12 meter breda och 100 meter långa. År 2015 kalkades en mindre försöksyta med 12 meter breda och 35 meter långa strimmor. Fostop Struktur innehåller i %: 50 CaO, 1 Mg, 2,4 Al₂O₃, 1,5 Fe₂O₃, 2,5 K, 1,7 S, 0,07 P. Innehåll i mg/kg: 44 Cu och 290 Zn. Kalkstensmjöl Ignaberga innehåller i % 49,5 CaO, 0,3 Mg, 0,6 Al₂O₃, 0,3 Fe₂O₃, 0,2 K, 0,03 S, 0,06 P. Innehåll i mg/kg: 2 Cu, och 9 Zn.

Aggregatstorleksfördelning och aggregatstabilitet

I 7 av 13 försök mättes aggregatstorleksfördelningen vårarna 2016 och 2017. Såbädden i vårkorn, respektive i de översta 4–5 cm i kuptoppen i potatis, sållades direkt efter sådd/sättning. Såbädden/kuptoppen delades upp i tre fraktioner med medeldiameter > 5 mm, 2–5 mm och < 2 mm, varefter varje fraktion volymsbestämde. I samtliga 13 försök togs vårarna 2015, 2016 och 2017 prover av aggregaten i storleksklassen 2–5 mm ut efter sållning enligt ovan för bestämning av aggregatstabilitet. I Billeberga togs aggregaten ut i augusti 2016 direkt efter höstrapssådd. Aggregaten utsattes för regnsimulering vid SLU Uppsala. Bevattning

(regnsimulering) och uppsamling av lakvatten gjordes vid 2 tillfällena med 24 timmars mellanrum. Det grumliga lakvattnet skakades i en skakapparat under 10 minuter och tilläts sedan sedimentera 4,5 timmar. Efter sedimentation togs ett prov av lakvattnet ut på 5,6 cm djup på vilket turbiditeten mättes. För varje bevattningsstillfälle finns alltså värden på lakvattnets turbiditet (turbiditet 1:2 och turbiditet 2:2) samt dess elektriska konduktivitet (EC 1 och EC 2). Turbiditetsvärdena utgör ett mått på mängden dispergerat ler i vätskan och därmed indirekt på aggregatstabiliteten. Elektrisk konduktivitet stiger vid kalkning och blir en kontroll av att kalkning och provtagning skett i rätt parceller. I resultatdelen redovisas turbiditet 2:2, då grövre partiklar har sedimenterat och endast lerpartiklarna bidrar till grumligheten i lakvattnet.

Växtnäingsanalyser samt tillväxt- och skördeparametrar och ekonomi

Alla observationer kopplade till tillväxt och skörd i vårkorn gjordes i alla parceller, d.v.s. för varje kalkparcell gjordes observationer i alla gödslingsled. Växtskyddsgraderingar i fält och strukturmätningar gjordes bara i G1. Jordprovtagning för kemiska analyser och biotester gjordes inom hela storparcellen före sådd.

Tabell 1. Försöksplan, kalkbehandling (storrutor)

Led	Giva produkt ton/ha	Mängd CaO ton/ha
K1. Okalkat	0	0
K2. Kalkstensmjöl	8	4
K3. Släckt kalk 2013; Fostop Struktur 2014-15	5,6; 7,8	4

Tabell 2. Försöksplan, växtnäingsbehandling (smårutor) inom kalkbehandling (storrutor) i vårkorn

Led	Gödsling vid sådd*	Bladgödsling
G1	Radmyllad NS27-4 Axan	-
G2	Radmyllad NPK Yaras 24-4-5**	-
G3	Radmyllad NPK Yaras 24-4-5 **	Gramitrel (1 l/ha och tillfälle)***
G4	Bredspridd NPK Yaras 24-4-5**	-
G5	Radmyllad N34****	-

* N-giva lika i alla led. Anpassning till gårdens nivå och rutiner för delad eller hel giva. I medeltal 103 kg N/ha före sådd och 123 kg N/ha totalt

** I Västraby användes NPK 22-6-6 i stället pga lägre P-AL-tal och lägre N-giva före sådd än övriga

*** Total näringstillförsel med Gramitrel var (g/ha) 192 N, 450 Mg, 150 Cu, 450 Mn och 240 Zn. Därtill kom Mn som alla odlare bladgödslade med över hela försöksytan enligt deras ordinarie Mn-rutiner

**** Led G5 ströks i två försök (Hammenhög och Heddinge) pga fel N-giva

Växtnäringsanalyser togs i stråsäd i DC 30–31, i höstraps i 6–8 bladstadiet (höst) och i stadium 52–53 (vår, medel blomning) i höstraps samt i potatis när blasten var 25 cm höga. Analyserna utfördes vid Yara Analytical Services i Pocklington, Storbritannien, och de normer vi använt för kritisk växtnäringshalt är de som laboratoriet anger. I anslutning till provtagningen i stråsäd samt i höstprovet i raps mättes ovanjordisk biomassa. Under säsongen gjordes planräkning (höst och vår i höstgrödorna), skott och axräkning i stråsäd. I vårkornet gjordes även en marktäckningsgradering i DC 12 samt i DC 30–31 en s.k. cropscanning med Yara Handsensor. Vid skörd graderades stråstyrka och stråbrytning. I potatis räknades stjälkarna före skörd och en nedvissningsgradering gjordes före skörd eller, i förekommande fall, före blastdödning. I rapsen mättes stjälklängden vid full blomning. Kvalitetsanalyser gjordes på spannmålsskörden med avseende på betalningsgrundande parametrar (NIT) samt tusenkornvikt. I raps bestämdes råfetthalten enl. NMR-metoden. I potatis gjordes storlekssortering samt stärkelsehalt/specifik vikt vid skörd och efter lagring. Intäktsberäkningarna för raps och spannmål bygger på prisnivå från HIR Skånes efterkalkyler 2017 och är korrigerade för kvalitet. För matpotatis är prisnivån beslutad tillsammans med Anders Andersson, ordf. i förening Potatisodlarna, såväl för normal fraktion som för småfallande. Stärkelsepotatisen prissattes enligt Lyckeby Starch kontrakt 2017. Där gödselkostnaden beräknats har priser för hösten 2017 använts.

Tabell 3. Försöksplatser och exempel på grunddata för matjord före kalkning samt grödor under projektperioden

Försöksplats	Kalk år	pH	P- AL	K- AL	Mg- AL	Ca- AL	Ler %	Mull %	Sand& gr.mo %	Grödor 2015	2016	2017
Linelund	2013	8,0	5	6	7	550	18	2,6	51	v-korn	h-raps	h-vete
Hörte-13*	2013	7,8	7	11	14	420	18	2,4	54	m-pot.	v-korn	h-raps
Lindby	2014	7,6	12	8	8	397	18	2,2	50		v-korn	h-vete
Billeberga	2014	7,5	12	12	10	290	25	2,8	41		h-vete	h-raps
Hammenhög	2014	7,8	13	13	11	396	28	4,6	36		v-korn	h-raps
Heddinge	2014	7,4	6	13	16	337	27	3,1	46		v-korn	h-raps
Hönnedal	2014	7,4	9	8	10	311	16	3,7	62		st-pot	h-vete
Ekeberg	2015	6,6	5	9	11	300	20	3,9	34			v-korn
Vadensjö	2015	7,0	18	16	7	270	20	2,8	50			v-korn
Vallby	2015	6,8	10	8	12	328	20	3,6	46			v-korn
Hörte-15*	2015	6,8	6	8	9	225	15	2,1	60			m-pot
Gislöv	2015	7,0	55	32	13	397	27	5,5	36			v-korn
Västraby	2015	7,1	6	11	14	290	22	3,1	54			v-korn

*siffran efter Hörte avser året då kalkbehandlingarna utfördes för att skilja de båda fälten åt

Växtsjukdomar

Förekomst och angreppsgrad av sjukdomar i fält och i biotester analyserades enligt vedertagen metodik (t ex Olsson *et al.*, 2019). Rötter med synliga angrepp lades på selektiva agarmedia för odling och identifiering av patogener. Storlek på sporer i finrötter eller renodlade isolat mättes i mikroskop. Fältgraderingar i stråsäd och raps gjordes på våren och strax före mognad. Totalt 50 plantor per parcell grävdes upp i stadium DC 22 och DC 80 för stråsäd och strax före tillväxtstart för höstraps. Plantorna tvättades och rotsystem och stråbas graderades för angrepp. Vid DC80 räknades antal ax eller strå med angrepp av *Fusarium*, rotdödare eller skarp ögonfläcksjuka (*Rhizoctonia cereale*). Höstraps graderades strax före mognad för kransmögel (*Verticillium longisporum*), bomullsmögel (*Sclerotinia sclerotiorum*) och torröta (*Leptosphaeria maculans*; *Leptosphaeria biglobosa*; *Phoma lingam*). Potatis graderades vid uppkomst för groddbränna (*Rhizoctonia solani*) på blaststjälkarna och verifierades genom mikroskopiering och isolering på agarmedia. Senare för angrepp av kransmögel (*Verticillium dahliae*), och filtsjuka (*R. solani*). Lagrad potatis bedömdes för angrepp av sjukdomar. Jordprov togs inom varje storparcell på våren före sådd eller i befintlig gröda. Proverna förvarades i

5°C och biotestades i växthus med vårkorn (cv Quench), höstvetete (cv Ellvis), ärt (cv Ebba), salladskål (cv Granaat) i 24°C och extra ljus den mörka årstiden och styrd vattning. Plantorna växte fyra eller fem veckor innan de tvättades i vatten och graderades och analyserades för angrepp enligt ovan. Ett slutligt biotest med korn och salladskål gjordes på jordprov tagna hösten efter skörd 2017 för att få en uppfattning om uppförökning av jordsmita. En kvot räknades fram för korn: sjukdomsindex efter odling dividerat med sjukdomsindex före odling (DSIe/DSIf). Extraktioner av DNA gjordes på ett jordprov vardera från Linelund och Hörte-13 för att utvärdera möjligheten att detektera jordburna patogener med PCR och utfördes av Intertek ScanBi Diagnostics, Alnarp. Målpatogener var i första hand *Fusarium culmorum*, *F. avenaceum*, *Verticillium* spp. (*V. dahliae* och *V. longisporum*) och *Plasmodiophora brassicae*.

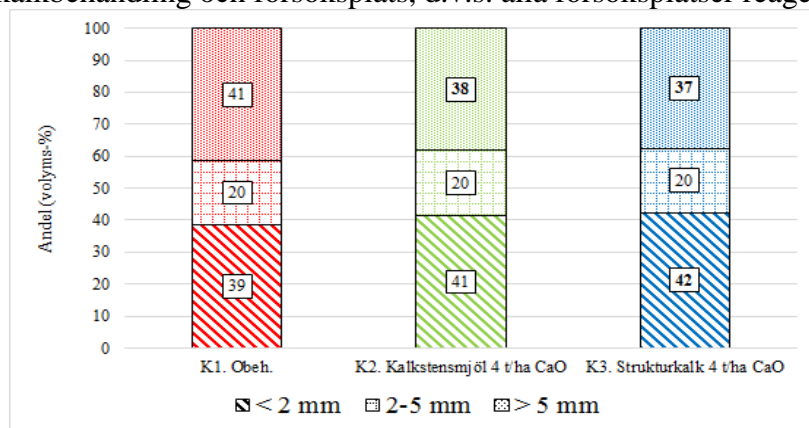
Statistik

Skillnader mellan led samt ev interaktioner studerades med hjälp av variansanalys PROC GLM i SAS. För tillväxt- och växtnäringsparametrar i vårkorn har en tvåfaktoriell modell för splitplot design använts med kalkbehandling i storrutor och växtnäringsstrategi i smårutor. Vid sammanställning över flera fält har interaktion med plats (fält) ingått i modellen. *P*-värden under 0,05 har benämnts signifikanta och mellan 0,05-0,15 som tendenser.

Resultat

Aggregatstorleksfördelning

Såbädden/kuptoppen i de båda kalkade leden K2 och K3 var mer finbrukad än i det okalkade ledet K1 (Figur 1). Både led K2 och K3 hade signifikant lägre andel grova aggregat (> 5 mm) i jämförelse med i det obehandlade ledet K1 ($P=0,006$). I klassen 2–5 mm fanns inga signifikanta skillnader ($P=0,657$). Det gjorde det däremot i fraktionen med den lägsta medeldiametern (< 2 mm) där led K3 hade en statistiskt säkerställd högre andel ($P=0,011$) jämfört med led K1. Det fanns inte i någon av aggregatstorleksklasserna något samspel mellan kalkbehandling och försöksplats, d.v.s. alla försöksplatser reagerade likadant för kalkbehandlingarna.



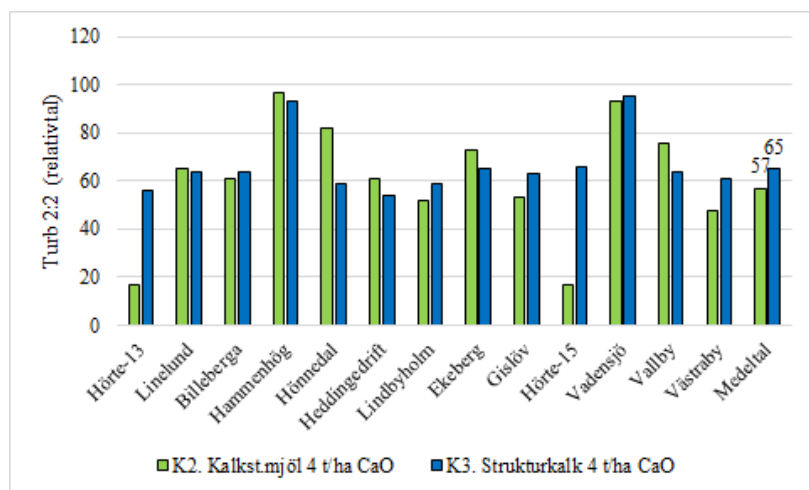
Figur 1. Aggregatstorleksfördelning i såbädden i vårkorn (6 försök) och kuptoppen i potatis (1 försök) under 2016–2017. Statistiskt signifikanta skillnader inom storleksklassen i jämförelse med det obehandlade ledet K1 anges i fetstil.

Aggregatstabilitet

Den elektriska konduktiviteten efter den 2:a bevattningen ökade signifikant ($P=0,000$) och på samma nivå med 31 procent i de båda kalkade leden K2 och K3. Också aggregatstabiliteten förändrades signifikant. Turbiditet 2:2 var signifikant lägre ($P=0,000$) i led K2 och K3 i jämförelse med led K1. Minskningen var i medeltal för de 13 försöken 43 procent i led K2 och 35 procent i led K3 (figur 2).

Minskningen i turbiditet varierade emellertid mycket mellan de 13 försöksplatserna (Figur 2). På platserna Billeberga ($P=0,06$), Heddingedrift ($P=0,05$), Lindbyholm ($P=0,06$) och Västraby ($P=0,006$) var skillnaderna signifikanta eller nära signifikanta. Oberörda av kalkbehandlingarna föreföll Hammenhög och Vadensjö att vara, och på Hörte-13 och Hörte-15 verkade led K2 ge större utslag i turbiditet än led K3. På dessa 4 platser, liksom

resterande ej kommenterade 5 försöksplatser, fanns dock trots stora utslag inga statistiskt säkra skillnader. Den stora variationen visade sig i ett statistiskt signifikant samspel ($P=0,049$) mellan behandling och försöksplats. Led K3 behandlades med släckt kalk hösten 2013 i två försök, och med Fostop Struktur höstarna 2014–2015 i elva försök. Några skillnader avseende EC 2 fanns inte mellan de båda grupperna utan både led K2 och K3 hade signifikant högre EC 2 jämfört med led K1. Turb 22 var signifikant lägre i led K2 och K3 i gruppen med elva försök där K3 behandlades med Fostop Struktur utan att skilja sig åt, medan det i den andra gruppen med två försök (K3 = släckt kalk) bara var led K2 som skilde sig signifikant från obehandlat led K1 – en reaktion som inte låg i linje med förväntningarna.



Figur 2. Turbiditet 2:2 (relativtal) i led K2 med kalkstensmjöl och led K3 med strukturkalk i jämförelse med obehandlat led K1 = 100 hos aggregat med medeldiameter 2–5 mm från såbädd/potatiskupa i 13 försök 2015–2017. Medeltal för 13 försök längst t.h.

Växtnäringsinnehåll i jorden

De kemiska analyserna visar att pH var 0,5 pH-enheter högre i de kalkade leden inför kornsådd i tio fält (Tabell 4). Dessa skillnader visar i stort liknande skillnad inför sådd av övriga grödor. AL-lösligt aluminium var signifikant högre i K3 än i K1 och K2. CAT-analys av Fe och Mn var lägre i de kalkade ytorna, men över optimalnivå för korn (norm för Fe-CAT är 20–300 mg/kg och Mn-CAT 30–50 mg/kg). ZnCAT var lägre i K2 än i K1 och K3 i fälten med potatis (data ej i tabell). Det var dock signifikanta samspel mellan kalkning och plats för ZnCAT i potatis. I övrigt fanns få samspel mellan kalkning och plats med avseende på jordanalyserna.

Tabell 4. Jordanalyser före sådd av vårkorn dvs 1,5 år efter kalkning i nio fält av tio och 2,5 år efter i det tionde fältet

Led	pH	PAL	POlsen	KAL	MgAL	CaAL	AlAL	FeAL	FeCAT	MnCAT	CuCAT	BorH ₂ O
K1. Obeh	7,3a	13,99	3,47	13,39	11,92	351a	18,13a	48,00	438b	78,1b	3,04	1,152b
K2. Ksmjöl	7,8b	15,29	3,90	12,84	11,81	438b	18,40a	45,40	335a	64,2a	2,78	1,017a
K3. Strukturkalk	7,8b	13,77	3,43	14,32	12,62	418ab	20,47b	44,57	338a	60,57a	2,70	1,107ab
LSD	0,14	5,180	1,017	1,958	1,370	70	1,311	9,640	72,6	10,2	0,372	0,091
<i>P</i> kalkning	0,000	0,819	0,596	0,317	0,442	0,038	0,001	0,760	0,008	0,003	0,174	0,014
<i>P</i> plats x kalkning	0,723	1,000	0,999	0,987	0,979	0,997	0,736	1,000	0,910	0,528	0,996	0,537

Kalkeffekter gröda för gröda

Höstvete

Inga av de parametrar som mättes kopplade till tillväxt skörd och ekonomi visade signifikanta skillnader mellan behandlingarna. Skörden var i genomsnitt 101,2 dt/ha (4 försök) i K1. Det fanns heller inga signifikanta

samspel mellan kalkning och plats för tillväxtmätningar, skörd eller ekonomi. Ingen enskild plats hade signifikant kalkeffekt på biomassa i DC 30, skörd eller intäkt.

Mo-halten i DC 30–31 var signifikant högre i kalkade ytor än i okalkade ($P = 0,044$), och 10 gånger över normvärdet (0,1 ppm) för höstvet. För övriga ämnen var halten i vete opåverkad av kalkningen. För Mo-halten i DC 30–31 fanns signifikanta samspel mellan kalkning och plats. För B var halten 3,0 ppm i K1 jämfört med 6,0 ppm som norm, utan signifikant skillnad efter kalkning. Cu-, Mg-, Mn-, K- och Zn-halterna var mer än 10 % under norm medan Ca-, Fe-, N-, P- och S-halterna var mer 10 % över norm.

Det fanns inga signifikanta skillnader för sjukdomar mellan behandlingarna eller signifikanta samspel mellan behandling och plats, vare sig i fältgraderingar eller biotester. Förekomster av olika sjukdomar redovisas under avsnittet om korn.

Höstraps

I tre av fyra försök med höstraps 2017 fanns tendens till sänkt frö- och råfettavkastning och intäkt i K3 jämfört med K1 medan K2 hade samma eller högre skörd och intäkt (ej signifikant). År 2016 fanns bara ett rapsförsök och där fanns ingen påverkan på avkastningen av kalkning. I försöken i Hörte-13 och Heddinge blev det stort spill vid tröskningen. Resultaten får därför tolkas med försiktighet. När dessa försök inte inkluderades fanns ingen signifikant effekt på någon parameter av kalk. Om alla fem platserna inkluderades i sammanställningen var det tendens till lägre fröskörd, råfettskörd respektive intäkt efter kalkbehandling ($P=0,08$, $0,08$ och $0,10$ respektive). I medeltal för de tre försöken var höstrapsens stjälkar 5 respektive 8 cm kortare vid skörd, i led K3 än i led K1 och K2. Inga av de övriga parametrar som mättes kopplade till tillväxt, skörd och ekonomi visade signifikanta skillnader mellan behandlingarna. Det fanns signifikanta samspel mellan kalkning och plats för stjäklängd, men inte för några andra mätningar kopplade till grödans tillväxt, skörd eller ekonomi.

På hösten fanns inga kalkeffekter för något av växtnäringshalterna. På våren var Mo-halten högre i raps från K3 än från övriga ytor (1,7 ppm i K2, K3 jmf med 1,3 ppm i K1) och något lägre än normen på 2 ppm enligt Pocklington lab (enligt Reuter och Robinson (1997) är normen för raps 0,4–1 ppm). För Mo vår fanns samspel mellan kalkning och plats. För höstanalyserna var B-, Mg- och Mo-halterna mer än 10 % under norm i K1 medan Ca, Cu, Fe, Mn, P, S och Zn var mer än 10 % över norm. För våranalyserna var K-, Mg- och Mo-halterna mer än 10 % under norm medan övriga ämnen var över norm.

Ingen försöksplats visade på infektion av klumprotsjuka, vare sig i fält eller i biotest. *R. solani* infekterade salladskålen i biotestet utan koppling till kalkbehandling. Isolering och identifiering i ett annat projekt har visat att isolaten tillhör AG 2–1 (anastomosisgrupp). Sjukdomar som hittades och graderades i fält är kransmögel, bomullsmögel och torröta, utan kopplingar till kalkled på platserna Heddingedrift, Billeberga eller Hörte-13 under 2017. Rapsen på Hammenhög var frisk utan några större angrepp. Rapsvivel och skidgallmygga var vanliga under 2017 och i synnerhet på Billeberga, men angreppen var jämnt fördelade över försöksplatserna. Det fanns mest bomullsmögel på Hörte-13 under 2017: ca 8–9 angripna stjälkar per radmeter skördeyta. Mest kransmögel i Billeberga: ca 2–5 angripna stjälkar per radmeter skördeyta. I medeltal var förekomsten av kransmögel i fält något högre i ledet med strukturkalk, 5 angripna stjälkar per radmeter skördeyta i K3 jmf med 2,5 i K1 ($P = 0,042$). Både för bomullsmögel och kransmögel var samspel mellan kalkning och plats signifikant. För övriga växtskyddsparametrar fanns inget signifikant samspel mellan kalkning och plats.

Potatis

Det var ingen signifikant skillnad i total knölskörd eller stärkelseskörd i medeltal över de tre försöken. Viktandelen över 30 mm av den totala knölskörden var dock lägre i K3 (99,27 %) jämfört med K1 (99,54 %) och omvänt var viktandelen knölar 0–30 mm i Ø högre i K3 än i K1 och K2 (Tabell 5). Inga andra parametrar som mättes kopplade till tillväxt, skörd och ekonomi visade signifikanta skillnader mellan behandlingarna.

Eftersom det fanns tendens till samspel för stärkelseskörd (P plats x kalkbeh=0,073) utvärderas även skörd och intäkt platsvis. I stärkelsepotatisen på Hönnedal var stärkelseskörd och intäkt lägst i K3 och högst i K1. Fe-halten i bladen var högre i K3 än i K1 och K2 (502 ppm, 191 ppm, och 227 ppm respektive), vilket var över norm (50 ppm). För Fe- och även N-halt fanns signifikant samspel mellan kalkning och plats: i Hönnedal och Hörte-13 var Fe-halten högst i K3 ($P=0,65$ i Hönnedal och 0,11 i Hörte-13) medan den var lägst i K3 i Hörte-15 ($P=0,35$). I medeltal för de tre försöken var P det enda ämne som låg under norm och P påverkades inte av behandlingen vare sig i medeltal för de tre platserna eller på någon enskild plats.

I Hörte-13 var N- och S-halter i K1 signifikant högre än i K2 och K3 medan Mo var lägst i K1. Alla dessa halter var rejält över norm. I Hönnedal fanns inga signifikanta effekter på växtnäringshalten men N- och P-halten tenderade ($P=0,08$ respektive 0,06) att vara högre i K2 och K3 än i K1. Endast Mn låg under norm i Hönnedal (23 ppm jämfört med normen på 40). I Hörte-15 fanns inga signifikanta kalkeffekter på växtnäring, men P och Cu låg under norm. (data ej presenterad).

Potatisen på Hörte-15 var mycket frisk utan groddbränna eller annan jordburen sjukdom. På Hönnedal hittades groddbränna i större sammanhängande ytor i stora delar av försöksplatsen, men utan koppling till kalkled. Ingen kransmögel eller filtsjuka kunde hittas på någon försöksplats.

Tabell 5. Knölskörd, stärkelseskörd och intäkt i potatis, tre försök

Kalkning	Hörte-13, Innova matpot.			Hönnedal, Kuras st.pot.			Hörte-15, Belana, matpot.			Tre försök	
	Skörd		Intäkt	Skörd		Intäkt	Skörd		kr/ha	Knölfördelning	
	Knöl	Stärkelse		Knöl	Stärkelse		Knöl	Stärkelse		Procent	
ton/ha	ton/ha	kr/ha	ton/ha	ton/ha	kr/ha	ton/ha	ton/ha	mm Ø	> 30 mm Ø		
K1. Obeh	58,55	8,83	111 676	46,05	11,85c	41 031c	52,41	7,69	101 811	0,46a	99,54b
K2. Ksmjöl	61,26	9,34	115 903	41,79	10,86b	37 644b	52,80	7,79	102 555	0,42a	99,58b
K3. S-kalk	61,61	9,85	116 472	40,14	10,18a	35 303a	53,55	7,89	104 342	0,72b	99,27a
LSD	3,21	0,57	11 537	5,33	0,20	703	5,31	0,95	10 700	0,17	0,17
P-värde, kalk	0,114	0,064	0,406	0,076	0,002	0,002	0,837	0,850	0,806	0,012	0,012

Vårkorn

Det var enbart signifikant interaktion mellan kalkning och gödsling för ett fåtal parametrar. Därmed kan man i huvudsak generalisera resultaten för kalkbehandling över de fem gödslingsleden och för gödslingsbehandling över de tre kalkleden. Däremot var det signifikant interaktion mellan kalkbehandling och plats för drygt 80 % av parametrarna kopplade till tillväxt, skörd och kärnkvalitet och för 65 % av växtnäringparametrarna. Resultaten måste därför tolkas plats för plats. Ovanjordisk biomassa i DC 30 var den parameter som oftast visade skillnader (Tabell 6). Resultaten av biomassa var ofta samstämmiga med andra parametrar som speglar tidig tillväxt t.ex. reflektans mätt vid samma tidpunkt (egentligen Yara Handsensor) och skotträkning.

Kalkeffekter på tillväxt och skörd. I Västraby, fanns signifikant skördeökning av kalkning: 5–7 % utan skillnad mellan K2 och K3 (Tabell 7), men enbart tendens till skillnad i biomassa i DC 30–31. I Linelund var kärnskorde tvärtom lägst i K3 och högst i K1 men biomassan i DC 30 var opåverkad av kalkbehandling. I tre andra försök, Hörte-13, Lindbyholm och Vallby, var biomassan i DC 30–31 större i K2 och K3 än i K1, dock bara signifikant större i K2 än K1 i Hörte-13 och Vallby. Ytterligare tre av de 10 kornförsöken hade tendens till ökad biomassa i DC 30 för en eller båda kalkbehandlingarna.

Kalkeffekter på växtnäringshalt i plantan. På samtliga platser och i genomsnitt var Mo-halten högre i K2 och K3 än i K1 (Tabell 8). I Linelund var Mn- och B-halterna lägre i K1 än i K3 och i Hörte-13 var de lägre i K1 än i K2. I Lindby, Vallby och Västraby fanns inte signifikant kalkeffekt på Mn och B. I Vallby var alla ämnen utom K och B i överskott. I Västraby fanns låga nivåer för P, K, Mg, S, M och B men inte för något av dessa ämnen påverkade kalken signifikant. I Västraby var Fe-halten ca 3 gånger så hög som på övriga platser. I samtliga kornförsök var K-, Mg- och P-halten under norm (Tabell 8). Fe-, O-, S-, Mn- och Zn-halten varierade mellan platser med fält med halter som var mer än 10 % under norm och de som var mer än 10 % över norm.

Gödslingseffekter på tillväxt och skörd. Den genomsnittliga biomassan i DC30 var högre i G2 och G3 som fått radmyllad NPK än i G1 och G5, som inte fick PK eller G4 där NPK bredspreddes (Tabell 6). Den slutliga kärnskorde var lägst i G4 och högst i G3 där NPK radmyllades och mikronäring sprutades ut – dock ingen signifikant skillnad mellan G2 och G3. Skörden skilde sig inte signifikant mellan G1 och G5 där skillnaden utgjordes av svaveltillförsel i G1 men inte i G5. Nettointäkten efter gödsling var lägst för bredspridd NPK och högst i G1 och G5 med radmyllad NS eller ren N. I beräkningen var inte långsiktigt tärande på PK beaktad.

Biomassan i DC 30 ökade för radmyllning av NPK jämfört med radmyllning av NS (dvs led G2 mot G1) i sex av tio fält (Linelund, Lindby, Heddinge, Ekeberg, Vallby och Västraby; Tabell 7) och kärnskorde ökade i ett fält (Vallby). Mikronäring (led G3 jämfört med G2) ökade inte biomassan i något fält, men skörden i ett fält (Västraby). Svaveltillförsel (G1 jämfört med G5) påverkade varken biomassa i DC 30 eller kärnskorde i något av de åtta fält där den jämförelsen var möjlig. Radmyllning jämfört med bredspridning (G2 jämfört med G4) gav större biomassa i åtta av de tio fälten (alla utom Hammenhög och Vadensjö) och ökad avkastning i tre fält (Hörte-13, Heddinge och Vadensjö).

Gödslingseffekter på växtnäringshalt i plantan i DC 30. För växtnäringshalten av N, P, Mn, B, Mo och Fe i DC 30 fanns ingen signifikant interaktion mellan gödsling och plats (Tabell 8). Kvävehalten var högst i G1 och G5 där bara NS eller N tillförts och lägst i G4 med bredspridd NPK. Manganhalten var lägst i G4 men ingen skillnad mellan övriga led. Molybdenhalten var lägre i de tre leden med NPK (G2, G3 och G4) än i NS- och N-gödslade led (G1 och G5). För P, B och Fe fanns inga skillnader orsakade av gödsling.

Sett till genomsnittliga effekter av övriga ämnen (K, Ca, Mg, S, Zn och Cu) kan noteras att K, Ca, Mg och Zn hade lägst halt i G4 medan S hade lägst halt i G5. Svavelhalten var högst i de PK-gödslade leden med radmyllning (G2 och G3) och lägst i G5 som inte svavelgödslades. Både K-, Mg- och Zn-halten var högre i G1 och G5 än i det PK-gödslade G2, trots att radmyllning tillämpades för alla tre.

Vid studier av enskilda platser ser man att Heddinge och Hammenhög inte hade några signifikanta gödslingseffekter på växtnäringshalten (data ej presenterade). Västraby hade bara effekt på två ämnen: Mn och Mo. Inget av dessa ämnen hade halter under normen. Lindby hade däremot signifikanta gödslingseffekter på halten av tio av tolv växtnäringsämnen. För övriga platser var det behandlingseffekter på fyra till sex ämnen.

Tabell 6. Torr biomassa vid DC30, samt slutlig kärnskörd (14 % vattenhalt) och netto efter gödsling men inte kalkning. Maltkorn, medel tio platser

Kalkled (storrutor)	Tio fält 2015-2017		
	DC30 kg/ha	Skörd dt/ha	Netto kr/ha
K1. Obek	2123a	84,0	10 166
K2. Ksmjöl	2256b	84,6	10 189
K3. Strukturkalk	2332c	85,0	10 313
LSD	69	0,9	296
P kalkbeh	0,000	0,157	0,59
P plats x kalkning	0,020	0,000	0,000
Gödsling (smårutor)			
G1. NS27 4 Radm.	2123a	84,2b	10 802c
G2. NPK Radm.	2435b	85,6bc	10 005b
G3. NPK Radm.+Mikro	2450b	86,2c	9 726ab
G4. NPK Bredspr.	2076a	82,4a	9 490a
G5. N34 Radm.	2101a	84,3b	11 090c
LSD	80	1,6	375
P växtnäringsstrategi	0,000	0,000	0,000
P kalkning x vn	0,910	0,963	0,835
P plats x vn	0,000	0,001	0,25

Tabell 7. Torrsubstans vid DC30 och slutlig skörd i vårkorn 10 platser, för storruta kalkbehandling och småruta växtnäingsstrategi

	Linelund		Hörte-13		Lindby		Heddinge		Hammenhög	
	DC30 kg/ha	Skörd dt/ha	DC30 kg/ha	Skörd dt/ha	DC30 kg/ha	Skörd dt/ha	DC30 kg/ha	Skörd dt/ha	DC30 kg/ha	Skörd dt/ha
Kalkled (storrutor)										
K1. Obeh	1962	104,8b	1873a	77,9	1751a	70,9	2102	73,9	2285	85,3
K2. Ksmjöl	2006	101,8ab	2197b	78,9	1902a	75,0	2217	73,0	2264	86,7
K3. Strukturkalk	1899	98,4a	2342b	80,3	2146b	75,7	2114	71,4	2498	89,0
LSD	223	4,4	194	2,0	226	4,4	278	2,10	224	4,2
P-värde, kalkbeh	0,620	0,021	0,000	0,065	0,005	0,071	0,647	0,059	0,077	0,311
Gödsling (smårutor)										
G1. NS 27 4 Radm.	1549a	101,4	2140b	80,1b	1860ab	73,3	1986a	73,4b	2322	86,3
G2. NPK Radm.	2456c	103,0	2238bc	80,7b	2239c	73,7	2316b	74,5b	2485	89,3
G3. NPK Radm.+Mikro	2245bc	104,1	2414c	81,3b	2112bc	72,9	2444b	73,1b	2402	87,6
G4. NPK Bredspr.	2030b	99,7	1755a	71,8a	1756a	73,4	1831a	70,1a	2186	85,0
G5. N34 Radm.	1500a	100,2	2142b	81,3b	1699a	75,9				
LSD	288	5,7	250	2,6	291	5,7	321	2,4	258	5,8
P-värde, VN	0,000	0,465	0,000	0,000	0,002	0,822	0,002	0,008	0,131	0,418
	Ekeberg		Gislöv		Vadensjö		Vallby		Västraby	
	DC30 kg/ha	Skörd dt/ha	DC30 kg/ha	Skörd dt/ha	DC30 kg/ha	Skörd dt/ha	DC30 kg/ha	Skörd dt/ha	DC30 kg/ha	Skörd dt/ha
Kalkled (storrutor)										
K1. Obeh	1006	95,1	1862	73,9	2540	98,5	2539,51a	86,1	3383	74,0
K2. Ksmjöl	1127	96,0	1954	74,6	2741	99,0	2740,99b	85,9	3474	77,5
K3. Strukturkalk	1105	97,0	2037	74,1	2769	99,7	2769,38b	86,9	3707	79,1
LSD	154	4,3	154	3,2	223	1,6	129	1,7	335	2,5
P-värde, kalkbeh	0,247	0,664	0,084	0,888	0,088	0,311	0,002	0,515	0,142	0,001
Gödsling (smårutor)										
G1. NS 27 4 Radm.	1017b	96,3	2026b	74,6b	2590	98,5bc	2570b	83,51a	3166a	75,7a
G2. NPK Radm.	1230c	98,2	2027b	73,7ab	2688	101,3c	2928c	87,02b	3739bc	76,6a
G3. NPK Radm.+Mikro	1192c	95,3	2143b	77,0b	2603	102,0c	2921c	89,15b	4028c	79,8b
G4. NPK Bredspr.	892a	94,9	1601a	70,1a	2871	95,5a	2489a	87,77b	3351ab	77,7ab
G5. N34 Radm.	1064bc	95,4	1957b	75,7b	2664	97,9ab	2509ab	84,111a	3323ab	74,5a
LSD	199	5,6	199	4,1	288	2,1	167	2,18	432	3,2
P-värde, VN	0,012	0,744	0,000	0,024	0,295	0,000	0,000	0,000	0,002	0,027

Tabell 8. Växtnäringshalter i DC 30 (% av torrsubstansen) i kalk- och gödslingsbehandlingarna. Tio vårkornfält 2015–2017

10 fält	%						ppm					
	N	P	K	Ca	Mg	S	Mn	B	Mo	Zn	Cu	Fe
Kalkled (storrutor)												
<i>Norm</i>	2,5	0,3	3,5	0,3	0,15	0,2	30	6	0,20	20	6	50
Obeh	3,4	0,293	3,056a	0,651	0,110	0,209ab	37,8b	5,0	0,916a	24,16b	7,3a	267
Ksmjöl	3,4	0,299	3,077a	0,667	0,111	0,202a	36,5ab	4,9	1,569b	22,49a	8,4ab	273
Strukturkalk	3,42	0,295	3,224b	0,666	0,112	0,217 b	36,0a	5,0	1,580b	23,27ab	9,0b	279
LSD	0,1	0,01	0,07	0,02	0,00	0,007	1,4	0,2	0,08	0,79	1,3	55
P kalk	0,549	0,530	0,000	0,801	0,871	0,001	0,001	0,061	0,000	0,001	0,033	0,701
P plats x kalk	0,036	0,004	0,000	0,000	0,001	0,024	0,000	0,000	0,000	0,059	0,203	0,056
Gödsling (smårutor)												
G1. NS27 4 Radm.	3,52c	0,291	3,16c	0,68b	0,117c	0,209b	37,9b	5,06	1,45b	24,9c	9,24	279
G2. NPK Radm.	3,40b	0,300	3,07ab	0,65a	0,110b	0,218c	37,3b	5,05	1,23a	22,6b	7,83	270
G3. NPK Radm.+Mikro	3,32b	0,300	3,14bc	0,64a	0,110b	0,218c	37,7b	4,98	1,16a	22,6b	8,05	306
G4. NPK Bredspr.	3,15a	0,292	3,00a	0,64a	0,102a	0,205b	33,8a	4,80	1,20a	21,2a	7,54	244
G5. N34 Radm.	3,62c	0,295	3,23d	0,70c	0,116c	0,196a	37,1b	5,03	1,74c	25,2c	8,15	266
LSD	0,120	0,010	0,086	0,02a	0,003	0,008	1,661	0,210	0,092	0,910	1,479	63
P gödsling	0,000	0,140	0,001	0,001	0,000	0,003	0,000	0,064	0,000	0,000	0,120	0,278
P plats x gödsling	0,336	0,855	0,025	0,030	0,048	0,008	0,160	0,780	0,484	0,029	0,013	0,670

Färgförklaringar:

Rosa rutor för näringshalterna avser halten som är mer än 10 % under norm; Vita rutor för halter avser halter på norm \pm 10%; Grå rutor avser halter som är mer än 10 % över norm. Grönt: P-värden < 0,05, Gult = P 0,05-0,15

Växtsjukdomar i vårkorn och höstvet

Graderingar av sjukdomar i stråsåd koncentrerades på jordburna patogener och på rotsystemet i synnerhet i de tidiga stadierna. I biotestet angreps rotsystemen av *Pythium* spp., och oosporer hittades i rötterna genom mikroskopiering och *Pythium* spp. kunde isoleras på selektivt agarmedium. En vanligt förekommande art identifierades som *P. arrhenomanes*, baserat på morfologiska studier t.ex. oosporstorlek. Även andra arter fanns närvarande. *Pythium* spp. kunde hittas i alla jordar i biotestet, och även i plantor i fält, men i något mindre omfattning. I biotestet med jord från storrutan och med korn (medeltal 10 försök), dominerades angreppen av *Pythium* spp.. Det fanns en tendens till sänkning av sjukdomsindex av kalkbehandlingarna från index 41 i K1 till index 38 och 36, i K2 respektive K3 ($P = 0,17$). Angreppen i fält vid DC 22 var lika i alla kalkbehandlingar (sjukdomsindex 13; medeltal 10 försök). Vikten per planta inklusive rot var vid DC22 signifikant högre ($P = 0,047$) i K2 och K3 (3,9 g/planta) jämfört med K1 (3,6 g/planta). Vid DC 80 graderades alla kalkbehandlingar till index 30. I biotestet med jord från storrutan och med korn efter skörd 2017, var *Pythium* spp. återigen det vanligast förekommande släktet. Kvoten DS_{Ie}/DS_{If} räknades fram, för vilken över 1,0 är uppförökning, medan 1,0 och under är oförändrat eller en minskning av jordsmittan. För jordar med pH under 7,2 i K1 var kvoten 2,0 eller högre (5 st.), dessa jordar hade också odlats med korn under 2017. För resterande jordar med pH 7,2 och högre var kvoten DS_{Ie}/DS_{If} 1,0 och lägre (5 st.), och dessa hade odlats med vete eller raps under 2017. För Västraby, som var den enda platsen med signifikant skördeökning, var uppförökningen 2,9 i okalkat led, 2,5 respektive 2,1 i K2 och K3 (NS).

Släktet *Fusarium* (*F. culmorum*) isolerades frekvent på rötter av stråsåd i alla försöksplatser, men inga större angrepp i fält eller biotest noterades. Axfusarios hittades enbart i vete på Hönnedal utan koppling till kalkbehandling och stråfusarios hittades inte på någon plats. Rotdödare (*Geumannomyces graminis*

tritici) hittades i veterötter vid DC80 i enskilda parceller på Linelund utan koppling till kalkbehandling. Skarp ögonfläcksjuka hittades i vete i fält både på Linelund och Lindbyholm, vilket konfirmerades genom isolering på agar och identifiering i mikroskop. Det fanns ingen koppling till kalkled på fyndplatserna.

Växtsjukdomar i ärt och åkerböna.

Ärtrotträta, *Aphanomyces euteiches*, och rotträta av *Phytophthora* graderades i biotest på jord från storrutan. På fem platser angreps plantorna av rotträta (K1: Västraby index 2; Lindbyh. index 2; Heddinged. index 16; Hammenh. index 17; Billeberga index 8). Alla platserna var smittade av *P. pisi*. Enbart Heddinge och Hammenhög var smittade även av *A. euteiches* och dessa hade även den högsta jordsmittan. I dessa två var index i K2 oförändrat, men en tendens till högre i K3 (index 30 och 34 respektive; NS). Alla fem platser hade en jordsmitta som varierade fläckvis över försöksplatsen vilket gav ibland låga medelvärden utan koppling till behandling.

Analyser av växtpatogener med molekylära metoder.

I början av projektet gjordes extraktioner av DNA i jordprov från Linelund och Hörte-13 för detektion av jordburna patogener med PCR. Inga test gav utslag för förekomst av målpatogenerna *F. culmorum*, *F. avenaceum*, *Verticillium* spp. (*V. dahliae* och *V. longisporum*) eller *P. brassicae*. Detta visade sig stämma för *P. brassicae* som inte hittades med biotest heller. För övriga arter underskred troligtvis mängderna DNA den gräns som är detekterbar med metoderna. Av praktiska skäl och kostnadsskäl fattades beslut att förlita sig på biotester och isoleringar på agarmedia och identifikation i mikroskop.

Diskussion

Markfysikaliska mätningar

Den elektriska konduktiviteten (EC 2) ökade ca 30 procent för både kalkstensmjöl i led K2 och strukturkalk i led K3. Det indikerar att båda kalkprodukterna hade samma löslighet i marken. Det är därför rimligt att också turbiditeten minskade signifikant i de båda kalkade leden med ca 40 procent. Mellan leden K2 och K3 fanns ingen statistiskt säker skillnad, utan båda kalkslagen stabiliserade aggregaten på ungefär samma nivå. Led K3 behandlades med två olika strukturkalkningsprodukter – släckt kalk hösten 2013 och Fostop Struktur 2014–2015. I relation till obehandlat led K1 fanns inga skillnader i reaktionsmönster med avseende på turbiditet 22.

Den ökade aggregatstabiliteten är lovande resultat, men något förvånande är att både kalstenmjöl och strukturkalk gav samma resultat. Eftersom led K2 med kalkstensmjöl inte innehåller någon CaO eller $\text{Ca}(\text{OH})_2$ utan bara CaCO_3 är den enda plausibla förklaringen till förbättrad aggregatstabilitet att den dominerande verkningsmekanismen var genom ett ökat basutbyte och högre närvaro av kalciumjoner på leraggregatens ytor. Enligt mätningarna av turbiditeten kan murbrukbildning och puzzolanreaktioner inte ha spelat någon roll ännu. Uppföljande mätningar görs i ett nytt SLF-finansierat projekt under 2018–20. Därefter kommer resultat att finnas tillgängliga som visar om effekten på aggregatstabilitet är densamma också efter ytterligare 3 år.

Den statistiska analysen visar ett signifikant samspel mellan kalkbehandling och försöksplats, d.v.s. olika reaktioner för kalkning på olika jordar. Detta pekar på att kalkning och strukturkalkning inte är åtgärder som passar överallt – vissa jordar reagerar starkare med en ökad aggregatstabilitet, medan andra jordar inte svarar alls, eller mycket svagt. Det understryker också behovet av vidare undersökningar för att med större precision kunna förutsäga var åtgärderna är lämpliga eller mindre lämpliga. Här spelar sannolikt jordens status med avseende på lermineralogi, katjonbyteskapacitet, basmättnad, pH och mullhalt in liksom förhållanden och odlingstekniska åtgärder vid kalkning och nedbrukning.

Positivt ur odlarsynpunkt är att båda kalkslagen visade sig kunna förändra aggregatstorleksfördelningen mot en mer finbrukad såbädd. Både led K2 och K3 minskade signifikant andelen grova aggregat (> 5 mm). Dessutom ökade andelen fina aggregat signifikant (<2 mm) i led K3. Förskjutningen mot en mer finbrukad såbädd rörde sig bara inom spannet 2–4 procentenheter, men även små förändringar kan påverka vattenhushållningen under torra betingelser och därmed inverka på både etablering och avkastning (Blomquist *et al.*, 2017).

Växtsjukdomar

Sjukdomar inventerades och graderades i alla fält för att ta reda på smittoläget på alla försöksplatser och för att utvärdera kalkningens effekt på respektive sjukdom. Klumprotsjuka hittades inte trots återkommande rapsodling på flesta platser, vilket kan bero på ett pH mellan 6,6 och 8,0 före kalkning. Klumprotsjuka finns dessutom enbart på ca. 5-7 % av arealen odlad med oljeväxter (pers. meddelande A. Kihlstrand). Det var stor variation i förekomst av sjukdomar, men ingen signifikant påverkan av kalkbehandlingen på angreppsgrad. Olika arter av *Pythium* kunde hittas i korn på alla försöksplatser, främst i biotestet men även i fält. Släktet har flera arter som är patogena på korn och vete t ex *P. arrhenomanes* (Paulitz *et al.*, 2010; Waller, 2007) och även i Sverige i växtföljdsförsök med korn (Olsson, 1995). Korn är känsligare för angrepp än vete vilket också har visat sig i biotester inom projektet. *Pythium* angriper embryo och finrötter vid fröets groning och ger en reducerad rotvolym. Plantan får dålig bestockning, låg biomassa och skördereduktion (Paulitz *et al.*, 2010). Biotesterna visade tendens till lägre angrepp i kalkleden och även uppförökningen i obehandlat led syntes vara lägre i jord med högre pH. Oomyceter är kända sedan tidigare som påverkade av pH i jord, (exv. Olsson *et al.*, 2011). Jordar med låg förekomst av rotbrand i sockerbetor har visat sig ha ett högt ledningstal (Olsson *et al.*, 2011) vilket påverkas av en jon som kalcium. En ny hypotes, som kräver fortsatta studier är, att den högre biomassan i korn i DC 22 och DC 30 i de båda kalkleden är en effekt av kalkbehandling på mycket tidiga angrepp av *Pythium*. För att studera detta måste garderingarna göras i samband med fröets groning och med annan metodik eftersom angripna finrötter förloras vid tvättning.

Tre av platserna hade jordsmitta av *P. pisi* och *A. euteiches* vilka båda ger rottröta på ärt. Förekomsten var fläckvis inom försöken och kalkbehandlingen gav inga signifikanta skillnader. Rotdödare gynnas av höga pH och hittades enbart på en försöksplats, Linelund, vilken hade ett pH på 8,0 före kalkning. Förekomsten var dock fläckvis. Av släktet *Rhizoctonia* hittades *R. solani* på raps i biotest och i potatis i fält (groddbränna), och även *R. cerealis* i höstvetete (skarp ögonfläck), men utan påverkan av kalkningsled. Undersökningarna kan sammanfattas med att ingen av grödorna drabbades av några större sjukdomsangrepp, men att patogenerna finns fläckvis närvarande i låga populationer. Trots intensiv odling på flera av försöksplatserna är sjukdomsfrekvenserna låga, vilket kan bero på att de är välkalkade jordar med god jordhälsa och bördighet.

Växtnäring skörd och ekonomi

I vårkorn var det signifikant eller tendens till ökad tidig tillväxt av kalk i 70 % av fälten, men bara signifikant eller tendens till ökad kärnskörd i 30 % av fälten. I 20 % av vårkornfälten fanns tendens eller signifikant sänkning av kärnskörden för något av kalkleden. Positiv kalkeffekt för tidig tillväxt tycks alltså jämnas ut under senare tillväxt.

Hypotesen för det tvåfaktoriella kornförsöket att det skulle vara samspel mellan kalkning och gödslingsstrategi måste förkastas. Hypotesen grundade sig på att kalken skulle försvåra växtens Fe-, Mn-, Cu-, B-, Zn- och ev P-upptag. I vårkornförsöken ser vi att Mn och Zn-halten påverkades på förväntat sätt, dvs. det var lägst halter i kalkade led. Därmed borde kalkningen påverka skörden mer positivt i G3, där både Cu, Mn, Zn och P var välförsörjt, än i t ex G1. Men ett sådant samspel gick alltså inte att påvisa.

Uteblivet samspel kan i vissa, men inte alla, fält förklaras av att växtnäringshalterna för Mn, Zn, Cu och Fe var på eller över normen och trots att Mn- och Zn-halten sjönk i kalkade led var halten över norm. P-halten sjönk inte till följd av kalkning i något av kornfälten. Vi såg däremot i gödslingsstrategiförsöken att radmyllning med NPK i stället för med NS var positivt på skörden oavsett kalkning eller ej (tabell 6). De enda platser där NPK inte gav skördeökning i korn hade antingen potatis som förfrukt (Hörte13) eller P-AL-tal på 13 och uppåt (Hammenhög, Vadensjö och Gislöv). Kortsiktigt betalade inte skördeökningen merkostnaden för NPK jämfört med NS, men för odlare som vill vidmakthålla sin växtnäringsstatus var effekten tillräcklig: vid en skörd på 85 dt kärna per hektar bortförs 16 kg P och 22 kg K (Jordbruksverket, 2018) vilket motsvarar en PK-kostnad på 440 kr/ha (Willert, pers. medd). Om detta beaktas skulle, med aktuellt LSD, ”nettointakten” för led G1 och G2 inte vara signifikant åtskilda.

Både K och Cu-halt i vårkorn var signifikant högre i K3 än i K1 och K2. Därtill var S-halten högre i K3 än i K2. I potatis var Fe-halten högre i K3 än i K1 och K2. Dessa effekter i K3 kan bero på strukturkalks kraftigare kemiska reaktionen av Ca(OH)_2 -delen i strukturkalken jämfört med ren CaCO_3 .

Puzzolanreaktioner innebär en upplösning av kisel tetraederna och aluminiumoktaederna, vilket sker i den starkt alkaliska miljön (~pH 12,4) som bildas när bränd eller släckt kalk tillförs en jord (Al-Mukhtar et al., 2010). En annan förklaring är att Fostop Struktur även innehåller andra växtnäringsämnen. Den giva som tillfördes i K3 motsvarar 195 kg K, 133 kg S och 343 g Cu per hektar. Även om kalken tillfördes 1,5 år före etableringen av vårkorn och potatis fanns sannolikt gödslingseffekt av K, S och Cu kvar till dessa grödor.

I potatis är resultaten motstridiga med en negativ effekt på Hönnedal och tendens till positiv effekt på Hörte-13 (Tabell 5). Ett skäl till strukturkalkning i potatis är att kunna odla på leriga och minska jordarandelen jord på knölnarna vid skörd. Då måste man veta hur man undviker skördesänkning som på Hönnedal. I potatis var P-halten i okalkat led under normen för potatis. I Hönnedal fanns tendens till ökad P-halt i både K2 och K3 men trots det blev stärkelseskörden signifikant lägre i båda de kalkade leden. Manganhalten låg oroväckande lågt i alla tre leden vid analystillfället vilket tyder på att odlaren ännu inte gjort någon manganbehandling. Även om det inte fanns någon behandlingsskillnad vid mätillfället borde Mn-upptaget påverkas och en brist kan ha uppstått senare. Det gäller förstås för alla ämnen, men vi vet att Mn-brist har mycket kraftig skördepåverkan i potatis och skulle åtminstone delvis kunna förklara 14 % lägre stärkelseskörd. I matpotatisen i Hörte-13 kan de uppmätta skillnaderna i form av sänkt N och K-halt och ökad Mo-halt i kalkade led inte förklarar tendensen till skördeökning. Här är det troligare att en bättre ”sättbädd” i form av fler små aggregat (Figur 1) har gett plantan en generellt bättre växtplats.

I höstvetete var växtnäringshalten av B, Cu, Mg, Mn, K och Zn, i okalkat led, mer än 10 % under normen. Då inget av dessa ämnen påverkades kan vi inte visa på någon växtnäringsmässig förklaring till utebliven skördeökning i höstvetete trots uppmätt förbättrad aggregatstabilitet.

I höstraps låg B-, Mg- och K-halten under norm men växtnäringshalten i dessa ämnen påverkades inte av kalkbehandling. Molybdenhalten, som också låg under norm, ökade i K3 och borde därmed ökat avkastningen i stället för att sänka den. Tendenserna till skördesänkning i några fält 2017 kan ha flera förklaringar och måste utredas vidare. Försöken är förhållandevis långa och inomfältvariation och gradienter i bl a mullhalt kan inverka på resultaten. Så var fallet till exempel på Heddinge. Fler raps- och höstveteförsök följs upp under 2018–2020 därmed kommer vi att få ett säkrare underlag och bättre möjlighet att förklara orsakssamband för kalkning till dessa grödor.

En metodstudie i ekonomisk analys för värdet av kalkning gjordes i ett examensarbete för två av försöksgårdarna där det fanns data för en hel växtföljd (Larsson, 2018). Svårigheten med en ekonomisk kalkyl är att kunna förutsäga responsen av en kalkningsåtgärd på skörd i framförallt potatis och höstraps och i viss mån även vårkorn. För detta krävs ytterligare försök för att få ett säkrare underlag vad gäller skörd. Andra faktorer som bör beaktas inför beslut om kalkning är positiva effekter som minskad

drivmedelsåtgång, men även risken för negativ påverkan på tillgänglighet av växtnäring vid höga pH i vissa jordtyper. Den sistnämnda kan i en del fall avhjälpas genom radmyllning. Kalkning kräver god kännedom om jordens egenskaper för att kunna fatta rätt beslut om kalkprodukt och mängd. Framtidens kalkrådgivning behöver kanske fler och annorlunda analyser och ny kunskap om jordarnas sammansättning.

Slutsatser

I medeltal gav både kalkstensmjöl och släckt kalk eller Nordkalk Fostrop Struktur positiv struktureffekt i form av ökad aggregatstabilitet samt en förskjutning mot en mer finbrukad såbädd med lägre medeldiameter på aggregaten. Det fanns dock ett statistiskt signifikant samspel mellan kalk och försöksplats avseende aggregatstabilitet – effekten var alltså olika mellan fälten. För vårkorn var det även samspel mellan kalkning och plats för tidig tillväxt och slutskörd. I höstvetete och potatis påverkade inte kalkning skörd eller intäkt i medeltal för platserna. I vårkorn var det signifikant eller tendens till ökad tidig tillväxt av kalk i 70 % av fälten, men bara signifikant eller tendens till ökad kärnskörd i 30 % av fälten. I 20 % av vårkornfälten fanns tendens eller signifikant sänkning av kärnskörden för något av kalkleden. Kalken påverkade den tidiga tillväxten positivt, men senare angrepp av sjukdomar, torka mm kan göra att skillnaderna mellan leden jämnats ut.

Flera jordburna patogener fanns närvarande, men ofta fläckvis inom försöksplatserna och i både höga och låga nivåer, vilket påverkar analysen. De analyser som är gjorda i DC 30 i fält eller på jordsmitta kan inte entydigt förklara skillnader mellan platser i respons på skörd och tillväxt. De patogener som hittades, t ex *Pythium*, angriper redan vid frögroning vilket talar för tidiga angrepp. Höga pH i fälten före kalkning kan förklara närvaro av rotdödare och frånvaro av klumprotsjuka.

Det fanns inget samspel mellan gödslingsstrategi och kalk. Däremot fanns gödslings effekter i form av förbättrad tillväxt och skörd för radmyllad NPK-gödsling jämfört med radmyllad N, och jämfört med bredspridd NPK, men ingen extra effekt av tillförd bladgödsling med mikronäring. Dock fanns signifikant samspel mellan plats och gödsling för skörd och tidig tillväxt.

Nytta för näringen och rekommendationer

De frågor vi har behandlat är av gemensamt intresse för lantbruksnäringen och samhället. För samhället kan kalkning ge betydande miljövinster genom ökad aggregatstabilitet med minskade fosforförluster på många jordar. Vidare kan en snabbare upptorkning, ökad tidig tillväxt och mindre problem med svampsjukdomar gynna odlarens ekonomi. Det är viktigt att förstå de processer som sker på olika jordar vid kalkning för att kunna fatta beslut om kalkning. Vi har visat på tydliga positiva effekter på jorden av både Fostrop Struktur och kalkstensmjöl samt även påvisat samspel mellan behandling och plats.

Strukturkalkning utgör en kostnad och är en investering för både odlaren och samhället. Ökade skördar utgör ett viktigt incitament för att kalka. Sockerbetor är den gröda som reagerar mest positivt medan höstvetete så här långt påverkas marginellt. I korn påverkas den tidiga tillväxten positivt och på en del platser även med ökad kärnskörd. Fler försök i höstraps kommer förhoppningsvis att kunna ge säkrare svar på hur denna gröda reagerar på kalkning. Därmed kan vi på ett helt nytt sätt komma att få ett bättre underlag för att studera ekonomi för kalkning i växtföljden.

Tillkännagivande

Detta projekt startades på initiativ av NBR och i samarbete med Nordkalk, Yara, SFO, Findus och HS Skåne. Projektet har möjliggjorts genom stort stöd från Stiftelsen Lantbruksforskning (SLF). Även Yara, Stiftelsen Svensk Oljeväxtforskning och Findus har bidragit med medel. Med arbetsinsats har Lars Wadmark (Nordkalk), Albin Gunnarsson och Anneli Kihlstrand (SFO), Gunilla Frostgård och Carl-Magnus Olsson (Yara) och Gunilla Berg (Jordbruksverket) bidragit. Stort tack för era insatser!

Referenser

- Al-Mukhtar, M., Lasledj, A. & Alcover, J. F. 2010. Behaviour and mineralogy changes in lime-treated expansive soil at 20 degrees C. *Applied Clay Science*, 50:191-198.
- Blomquist, J., Simonsson, M., Etana, A., & Berglund, K. (2018). Structure liming enhances aggregate stability and gives varying crop responses on clayey soils, *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science*, 68:4, 311-322
- Choquette, M., Bérubé, M.-A. & Locat, J. 1987. Mineralogical and microtextural changes associated with lime stabilization of marine clays from eastern Canada. *Applied Clay Science*, 2, 215-232. Cook, xx
- Coventry, D. R., Kollmorgen, J. F. 1987. An association between lime application and the incidence of take-all symptoms on wheat on an acid soil in north-eastern Victoria. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 27(5) 695 – 699
- Frostgård, G. och Olsson, C-M. 2012. Inte bara N, P och K. *Växtpressen* 1, 14-18.
- Hamilton, H. A., Créte, R. 1978. Influence of soil moisture, soil pH, liming sources on clubroot. *Can. J. Plant. Sci.*58:45-53.
- Jordbruksverket (2018) Rekommendationer för gödsling och kalkning 2019.
- Larsson, J. 2018. Kalkning på alkalina jordar – Utan stallgödsel i växtföljder med sockerbetor. Examensarbete. SLU, Alnarp
- Ledin, S. 1981. Physical and micromorphological studies of the effects of lime on a clay soil [swelling, shrinking, porosity, CaCO₃, scanning electron microscopy, energy dispersive].
- Magnusson, M. 2000. Soil pH and nutrient uptake in cauliflower and Broccoli in Northern Sweden. Multielement studies by means of plant and soil analysis. *Agraria* 220. Doctoral thesis., Swedish University of Agricultural Sciences., Umeå. 564 pp.
- Olsson, S. 1995. On barley monoculture soil. Dissertation, SLU Uppsala
- Olsson, Å., Persson, L., Olsson, S. 2011. Variations in soil characteristics affecting the occurrence of *Aphanomyces* root rot of sugar beet – risk evaluation and disease control. *Soil biology & biochemistry* 43, 316-323.
- Olsson, Å., Persson, L., Olsson, S. 2019. Influence of soil characteristics on yield response to lime in sugar beet. *Geoderma* 337:1208–1217.
- Paulitz, T., Smiley, R., Cook, R.J. 2010. Insights into the prevalence and management of soilborne cereal pathogens under direct seeding in the Pacific Northwest, USA. *Canadian Journal of Plant Pathology* 24(4):416-428.
- Reuter D.J. och Robinson, J.B. (1997) *Plant analysis - an interpretation manual*. Second ed. CSIRO, Australia
- Stenberg, M., Stenberg, B. & Rydberg, T. 2000. Effects of reduced tillage and liming on microbial activity and soil properties in a weakly-structured soil. *Applied Soil Ecology*, 14, 135-145.
- Troug E. 1946. Soil reaction influence on availability on plant nutrients. *Proc. Soil Science Soc Am* 11, 305-308 citerad av Eriksson, J., Nilsson, I., Simonsson, M. 2005. *Wiklanders marklära*. Studentlitteratur. Lund. ISBN 978-91-44- 02482-0
- Ulén, B. & Etana, A. 2014. Phosphorus leaching from clay soils can be counteracted by structure liming. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science*, 64, 425-433.
- Waller, J.M. 2007. Observation on *Pythium* root rot of wheat and barley. *Plant Pathology* 28(1):17-24.
- Personliga meddelanden: Marcus Willert, HIR Skåne. 2019 05 20

Resultatförmedling

- Vetenskapliga publiceringar: ●Blomquist, J. 2018. Structure liming affects aggregate stability, aggregate size distribution, crop yield and micro nutrient availability on clay soils. *International Fertiliser Society. Proceedings* 822, 30 pp
- Fertilisation strategy and liming with ground limestone and structure liming to barley on alkaline clay soils. Planned for *European Journal of Agriculture*
- Övriga publiceringar: ●Gunnarsson, A. Blomquist, J. Olsson Å och Persson L. 2017. Kalkning vid högt pH ger stabilare aggregat. *Arvensis* nr 4-5, sid 20-21.
- En artikel i *Svensk Frötidning* planeras
- Muntlig kommunikation: ●HIR-konferenser 2016 10 03 samt 2018 10 01. ●Lunchföredrag 2017 02 17 Sandby gård 2016. Fältvisningar ●juni 2015, ●juni 2016, ●juni 2017 och ●juni 2018. Presentation på ●Skåneförsöksresa vår/sommar 2017. Odlare- och medsökandedagar ●febr. 2016 och ●febr. 2017. Presentation vid IFS konferens i Cambridge i ●december 2018. IFS = International Fertiliser Society. Jens Blomquist.
- Studentarbeten: ●Larsson, Jacob, 2018. Kalkning på alkalina jordar – Utan stallgödsel i växtföljder med sockerbetor. Självständigt arbete vid Lantmästarutbildningens kandidatprogram inom ekonomi. • 15 hp
- Tindberg, Hjalmar, 2018. Strukturkalkens inverkan på såbäddens aggregatgenskaper : en studie inriktad på strukturkalkning av lättleror. Departement of Biosystems and Technology