



KALKS PÅVIRKNING AF JORDENS STRUKTUR OG BIOTA

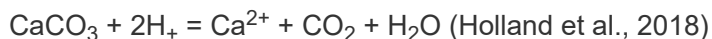
STØTTET AF

Promilleafgiftsfonden for landbrug

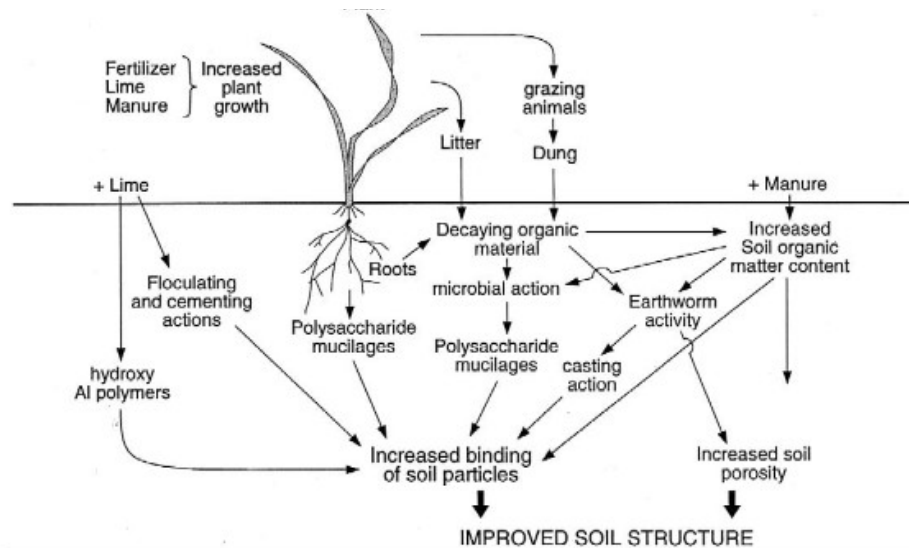
Ved kalkning udfældes tungmetaller som aluminium og jern kationer, og jordens porøsitet forbedres da kalk bl.a. kan influere på dannelsen af mikro- og makroaggregater. Regnorme bliver positivt påvirket af kalkning hvilket nogle mikroorganismer også gør.

KALKS PÅVIRKNING AF JORDSTRUKTUREN OG JORDENS MIKROBIELLE AKTIVITET.

Optimal pH for dyrkning af jorden ligger omkring 6,5, da vi allerede ved, at det er i dette pH-niveau, at de fleste af plantens essentielle næringsstoffer er mest tilgængelige for planten. Udskillelsen af H^+ fra planterødder sker i takt med næringsstofoptagelsen fra jord til rod. Det øgede indhold af H^+ -atomer i jorden forsurer jorden, og tildeling af kalk, som $CaCO_3$, går i reaktion med H -atomerne og neutraliserer dermed forsuringen (Holland et al., 2018). Derudover influerer kalken på forskellige processorer direkte eller indirekte.



Jordens struktur er konstant afhængig af pH-værdien og de ioniske kræfter, som er til stede i jorden. Ler- og humuskolloiderne har negative overflader og tiltrækker derfor kationer. Kolloiderne danner elektroniske dobbeltlag med de kationer, som er frit tilgængelige i jordvæsken, og ved lave pH-værdier er det tungmetaller, som aluminium, Al, og jern, Fe, og H^+ -atomer, som samtidig er det er tilgængeligt for planterne. Ved en surere udvikling af jorden, øges tilgængeligheden af tungmetallerne ligeledes for planterne, og tungmetallerne forårsager forgiftning af planterne, som bliver vækstreducerede i skud og rod (Haynes and Naidu, 1998).



Figur 1. De processor og funktioner tildelingen af kalk, gødning og husdyrgødning bl.a. har af indflydelse i jorden (Haynes and Naidu, 1998).

FLOKKULERING OG CEMENTERING

Flokkulering er dannelsen af flager ud fra de tiltrækningskræfter og frastødningskræfter, der findes i jorden, og det er afhængig af jordens pH-værdi og ionsammensætning (Holland et al., 2018). Når pH-værdien er lav, øges aktiviteten af Al^{3+} og H^+ , kationer, som fremmer sammentrækningen af dobbeltlaget og flokkuleringen af lerkolloider. Tiltrækningen af positivladet Al og Fe hydroxider og negativladet leroverflader og brodannelse mellem ler- og humusoverflader fremmer også flokkuleringen. Under sure forhold er frastødningskræften mellem to negativladet poler, som ler- og humuskolloider, mindre end tiltrækningskræften, pga. den øgede kation aktivitet (Haynes and Naidu, 1998).

Når der tildeles kalk, fornyes og forbedres flokkuleringen, ved at gensammentrække dobbeltlaget, da kation sammensætningen i jorden er ændret. Den høje aktivitet af Al^{3+} og H^+ reduceres i takt med at jorden neutraliseres. H^+ -atomerne går i reaktion med kalken, mens Al^{3+} og andre tungmetaller udfældes, og f.eks. Al^{3+} udfældes som hydroxy-Al polymerer (Haynes and Naidu, 1998, Holland et al., 2018).

Hvis der er overskud af kalk, kan det have en amorf cementeringseffekt og tilstoppe porer, og binde tilstødende partikler til aggregater. Den samme effekt ses ved tilstedeværelsen af tilstrækkelig hydroxy-Al polymerer, som kan opnås ved neutralisering af jorden (Haynes and Naidu, 1998). Det er bl.a. kombinationen af flokkulering og cementering, som forbedrer jordstrukturen ved kalkning.

PORØSITET

Kalk har betydning for dannelsen af mikro-aggregater og agronomisk gode aggregater (Holland

et al., 2018, Janusauskaite et al., 2009), og forbedrer ligeledes jordens porøsitet (Ferreira et al., 2018). Kalken skal fordeles og gøres tilgængeligt for jordens partikler, før den kan have en indvirkning på jordens struktur (Ferreira et al., 2018). Sammensætningen af porerne ændres ved kalkning. Der bliver færre isolerede porer, da jordens poresystem bliver mere langstrakte og de tidligere isolerede porer bliver forbundet ved kalkning (Ferreira et al., 2018).

JORDENS BIOTA

En indirekte forbedring af jordens struktur ved tildeling af kalk, er en øget størrelse og aktivitet hos jordens regnormebestand (Haynes and Naidu, 1998, Holland et al., 2018, Ferreira et al., 2018). Regnorme i tempereret klima trives bedst ved en mere neutral pH-værdi, og i sure jorde kan regnormene gå i diapause, dvale, ligesom de gør under tørre forhold. Regnorme aktiviteter, som gravning, fouragering og fordøjelse, har alle en påvirkning på jordens struktur (Sharma et al., 2017). Gravning af regnormegange giver en direkte udvidelse af jordens makroporesystem, som rodsystemet kan udvide sig i og jordvæsken kan drænes gennem. Gravning har en betydelig påvirkning på jordens porøsitet. Regnormene indtager og fordøjer jordpartikler og organiske partikler, som bliver bundet sammen i regnormenes fordøjelsessystem. De kommer ud i den anden ende, og danner grundlag for dannelsen af flere stabile aggregater, og binder de mikro-aggregater, som kalken har produceret, til makro-aggregater (Lee, 1985, Lee and Foster, 1991, Haynes and Naidu, 1998, Holland et al., 2018).

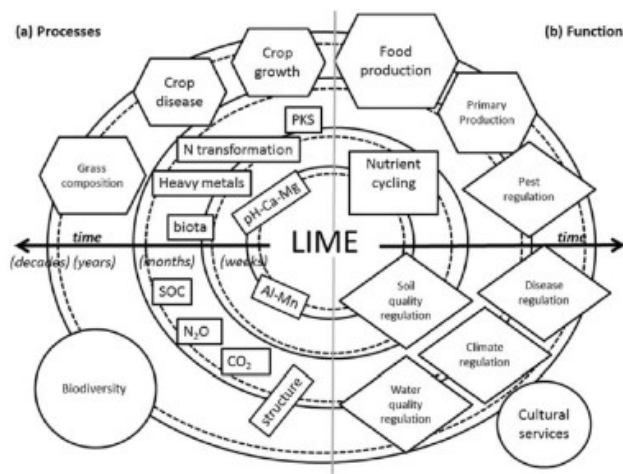
Ved tildeling af kalk ændres populationssammensætningen af jordens bakterier og jordboende-svampe. Forholdet mellem bakterier og svampe øges, da mere neutral jord øger bakteriepopulationen, mens det reducerer svampepopulationen (Holland et al., 2018). Bakterier nedbryder organiske materialer, som frigiver mere næringsstof til næringsstofcyklussen, og dermed fremmer de væksten hos andre jordstrukturforbedrende organismer. Nogle bakterier kan også producere extracellulære polysakkerider, som har en bindende egenskab i jorden (Burns and Davies, 1986, Haynes and Naidu, 1998). Svampe kan også nedbryde organiske materialer, og svampens hyferne, som når vidt omkring i jordsøjlen, sammenflettes og inkorporerer jordpartikler og aggregater, og gør jorden mere stabil. Selvom svampe som gruppe reduceres ved kalkning, øges populationen af en type svamp, arbuskulær mykorrhiza svampe, AMS. AMS udskiller glomalin, som er et hydrofobt materiale, og det 'klistrer' jordpartiklerne sammen (Gianinazzi et al., 2010).

TIDSPERSPEKTIVER

I figur 2 kan ses tidsperspektivet ved tildeling af kalk, ift. til både de forskellige processer det påvirker og hvilke funktioner det har indvirkning på.

De kortsigtede fordele for jorden indebærer øget næringsstof tilgængelighed, flere mikroorganismer, øget mikrobiel aktivitet, og deraf øget udskillelse af jordpartikelbindende polysakkerider, flere regnorme og øget regnorme aktivitet. Disse ting er med til at forbedre jordstrukturen og aggregat stabiliteten, men det bliver først målbart bedre efter ca. 1,5 år (Haynes and Naidu, 1998).

På den længere bane vil jordens karbonpulje blive opbygget, da kalkningen fremmer bl.a. plantevækst og mikrobiel vækst. Porøsiteten og stabiliteten vil være væsentligt forbedret gennem en årrække, da regnorme og andre organismer har influeret på jordens aggregatdannelse, hvilket den øgede karbonpulje også vil have haft en positiv effekt på.

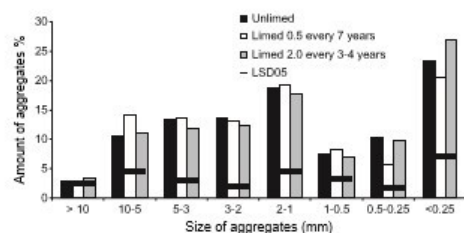


Figur 2. Tidsperspektiver over kalks påvirkning af processor og funktioner i jorden og det omkringværende miljø (Holland et al., 2018).

KALKS PÅVIRKNING PÅ JORDSTRUKTUREN I TAL

I studierne Aye et al. (2016), Janusauskaite et al. (2009), Wang et al. (2016), bliver der diskuteret, om hvordan aggregatstørrelsessammensætningen ændres eller ikke ændres ved tildeling af kalk. Det er de uenige om, og de er lidt usikre på om en evt. ændring skyldes andre faktorer end kalkningen, som f.eks. klimaet eller de dyrkede plantearter. De er dog enige om, at kulstofindholdet er en vigtigere faktor, når der tænkes på en forbedret jordstruktur, end aggregatstørrelsessammensætningen. I figur 3 kan der andelen af aggregater indenfor forskellige størrelsesordener ses, ud fra tre kalkningsniveauer.

Janusauskaite et al. (2009) kommer frem til, at der efter 54 år, er et øget humusindhold i de øverste jordlag ved kalkning, 0-20 cm. I tabel 1 kan der ses, humusindholdet i det øverste jordlag, 0-20 cm, indenfor de forskellige aggregatstørrelsesintervaller ved de forskellige kalkningsniveauer. Den modererede kalkningsmetode, 3,8 t/ha CaCO_3 hvert 7. år, giver det højeste humusindhold, med ca. 14 % mere end den intensive kalket jord, 15 t/ha CaCO_3 hvert 3.-4. år og ca. 26 % mere end den sure jord. Derimod kommer Aye et al. (2016) frem til at en lang periode, 34 år, reducerer kulstofindholdet i jorden, men de har kun tilført kalk til jorden en enkelt gang ved start af forsøget. Det fortæller, at hvis kalk ikke bliver tilført, reduceres jordens kulstofindhold. Hvis jordens kulstofindhold reduceres, kan de mulige udbytter på jorden blive forringet på længere sigt. Aye et al. (2016) undersøgte også en 5-årige kalkningsperiode, med kalkningsniveauer på 0 t/ha, 3 t/ha, 12,5 t/ha og 25 t/ha, hvor der ingen forskel var mellem nogle af behandlingerne ift. kulstofindholdet.



Figur 3. Aggregatsammensætningen ved ikke-kalket, kalket med 3,8 t/ha CaCO₃ hvert 7. år og 15 t/ha CaCO₃ hvert 3.-4. år (Janusauskaite et al., 2009).

Det skal undersøges mere, om hvorvidt kalkning betyder noget for aggregatstørrelsessammensætningen, og hvilke størrelser der er at foretrække. Kulstofindholdet bliver positivt påvirket af kalkning på den længere bane, mens der på den korte bane, som udgangspunkt ikke er en ændring.

Tabel 1. Humusindhold (%) i det øverste jordlag, 0-20 inddelt efter aggregatstørrelser ved ikke-kalkning, kalket med 3,8 t/ha CaCO₃ hvert 7. år og 15 t/ha CaCO₃ hvert 3.-4. år. Udover et gennemsnit er andelen af humus også inddelt efter aggregatstørrelser (Janusauskaite et al., 2009).

Treatment	Fractions of aggregates (mm) $\bar{x} \pm Sx$							Mean
	10.0-5.0	5.0-3.0	3.0-2.0	2.0-1.0	1.0-0.5	0.5-0.25	<0.25	
Unlimed	1.80 ± 0.05	2.03 ± 0.02	1.86 ± 0.03	2.07 ± 0.02	2.03 ± 0.05	1.86 ± 0.05	1.67 ± 0.03	1.90 ± 0.03
Limed × 0.5 every 7 years	2.51 ± 0.03	2.43 ± 0.04	2.31 ± 0.03	2.36 ± 0.02	2.36 ± 0.02	2.50 ± 0.03	2.24 ± 0.05	2.38 ± 0.03
Limed × 2.0 every 3-4 years	1.99 ± 0.02	2.17 ± 0.05	2.27 ± 0.04	2.31 ± 0.04	2.31 ± 0.05	2.34 ± 0.02	2.04 ± 0.03	2.09 ± 0.04

Note: $\bar{x}$ - arithmetic mean from 3 soil samples; Sx - standard error of mean; $n = 6$.

Ift. jordens porøsitet undersøgte Ferreira et al. (2018) kalks påvirkning i en ubehandlet jord ned til 20 cm ved 20 t/ha. De kom frem til at overflade kalkning forbedrede jordens porøsitet ned til 10 cm og der var færre isolerede porer. Derudover blev poresystemet længere og antallet af porer blev større.

KALKS PÅVIRKNING PÅ JORDENS MIKROBIOLOGI I TAL

Kalkning påvirker det mikrobielle miljø i jorden, som Janusauskaite et al. (2009) konkluderede, tabel 2. Derudover øges kulstof mineraliseringen (Lochon et al., 2018), hvilket er en effekt af en øget mikrobiel aktivitet, hvilket er på trods af et øget kulstofindhold i jorden. Det kan dog ses, at intensiv kalkning, ikke giver et så stort humusindhold, som moderat kalkning, hvilket den øgede mineralisering er skyld i. Den øgede mikrobe andel i jorden, giver også positiv effekt på jordstrukturen. I tabel 2 kan der ses, hvordan forskellige mikroorganismer og enzymer bliver påvirket af de forskellige kalkningsniveauer.

Tabel 2. Påvirkning af ikke-kalkning, kalket med 3,8 t/ha CaCO₃ hvert 7. år og 15 t/ha CaCO₃ hvert 3.-4. år på jordens mikrobielle miljø og enzym aktivitet

Variable	Treatment			
	Unlimed	Limed 0.5 t/ha every 7 years	Limed 1.0 t/ha every 3-4 years	Background level (%)

TREATMENT	CONTROL	LIMED 50.2 TON/HA EVERY 4 YEARS	LIMED 50.2 TON/HA EVERY 2-4 YEARS	PROBABILITY LEVEL (p)
Amonifcators	2.93a	5.33b	6.89b	<0.003
Micromycetes	51.4a	39.12a	46.9a	NS
Mineral N assimilators	4.57a	10.95b	11.62b	<0.001
Spore forming bacteria	16.37a	30.47b	36.41b	<0.001
Invertase activity	26.58ab	24.28a	28.84b	NS
Urease activity	0.76ab	0.73a	0.91b	NS

Values within a treatment followed by a different lowercase letter are significantly different ($p < 0.05$) according to Fisher's LSD procedure.

KILDER

AYE, N. S., SALE, P. W. G. & TANG, C. X. 2016. The impact of long-term liming on soil organic carbon and aggregate stability in low-input acid soils. *Biology and Fertility of Soils*, 52, 697-709.

BURNS, R. G. & DAVIES, J. A. 1986. THE MICROBIOLOGY OF SOIL STRUCTURE. *Biological Agriculture & Horticulture*, 3, 95-113.

FERREIRA, T. R., PIRES, L. F., WILDENSCHILD, D., HECK, R. J. & ANTONINO, A. C. D. 2018. X-ray microtomography analysis of lime application effects on soil porous system. *Geoderma*, 324, 119-130.

GIANINAZZI, S., GOLLOTTE, A., BINET, M. N., VAN TUINEN, D., REDECKER, D. & WIPF, D. 2010. Agroecology: the key role of arbuscular mycorrhizas in ecosystem services. *Mycorrhiza*, 20, 519-530.

HAYNES, R. J. & NAIDU, R. 1998. Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: a review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 51, 123-137.

HOLLAND, J. E., BENNETT, A. E., NEWTON, A. C., WHITE, P. J., MCKENZIE, B. M., GEORGE, T. S., PAKEMAN, R. J., BAILEY, J. S., FORNARA, D. A. & HAYES, R. C. 2018. Liming impacts on soils, crops and biodiversity in the UK: A review. *Science of the Total Environment*, 610, 316-332.

JANUSAUSKAITE, D., OZERAITIENE, D. & FULLEN, M. A. 2009. Distribution of populations of micro-organisms in different aggregate size classes in soil as affected by long-term liming management. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science*, 59, 544-551.

LEE, K. E. 1985. *Earthworms: Their Ecology and Relationships with Soils and Land Use*, Sydney, Academic Press

LEE, K. E. & FOSTER, R. C. 1991. SOIL FAUNA AND SOIL STRUCTURE. *Australian Journal of Soil Research*, 29, 745-775.

LOCHON, I., CARRERE, P., REVAILLOT, S. & BLOOR, J. M. G. 2018. Interactive effects of liming and nitrogen management on carbon mineralization in grassland soils. *Applied Soil Ecology*, 130, 143-148.

SHARMA, D. K., TOMAR, S. & CHAKRABORTY, D. 2017. Role of earthworm in improving soil structure and functioning. *Current Science*, 113, 1064-1071.

WANG, X., TANG, C., BALDOCK, J. A., BUTTERLY, C. R. & GAZEY, C. 2016. Long-term effect

of lime application on the chemical composition of soil organic carbon in acid soils varying in texture and liming history. *Biology and Fertility of Soils*, 52, 295-306.