

Mikronäringsämnen i svensk spannmål

Holger Kirchmann och Karin Hamnér

Centrala frågor

Växter är i behov av ett antal mikronäringsämnen för att fullborda sin livscykel och för att optimal skörd ska kunna uppnås. Utifrån den kunskap vi har i dagsläget finns det sju mikronäringsämnen som är essentiella för växter: bor (B), koppar (Cu), järn (Fe), mangan (Mn), molybden (Mo), nickel (Ni) och zink (Zn). Frågor som rör mikronäringsämnen är mycket angelägen ur ett produktions- och kvalitetsperspektiv, både i Sverige och globalt. Många länder har stora problem med brist på ett eller flera mikronäringsämnen i åkermarken som dels förorsakar stora skördesänkningar men som också leder till brist hos både människor och husdjur. Även problem med toxicitet, d.v.s. för höga halter i åkermark, förekommer i ett flertal länder. I Sverige finns dock få kända problem med toxicitet och stora skördebegränsningar p.g.a. brist är inte allmänna. Trots detta finns det anledning att uppmärksamma mikronäringsämnen. I denna undersökning har spannmålets behov av mikronäringsämnen varit i fokus.

Regelbunden gödsling med makronäringsämnen och begränsad gödsling med mikronäringsämnen ger upphov till ett antal viktiga frågor, som har bearbetats i projektet:

- Har långvarig gödsling med kväve, fosfor och kalium dock inte med mikronäringsämnen utarmat odlingsjordar på mängden mikronäringsämnen i marken?
- Vilka och hur stora flöden av mikronäringsämnen sker till och från ett fält?
- Vilken inverkan har långvarig tillförsel av organiska gödselmedel på grödans halter av mikronäringsämnen? Hur skiljer sig halterna åt mellan de olika grödorna?
- Vilka halter i kärnan visar på en god försörjning resp brist?
- Hur påverkas mikronäringsämnenhalter i spannmål av kvävegödsling? Frågan kan vidareutvecklas - finns det en utspädningseffekt av

mikronäringsämnen vid hög kvävegödsling eller ökar upptaget av mikronäringsämnen i samma förhållande som proteinhalten?

- Finns det tecken på att mikronäringsämnen kan vara skördebegränsande vid odling av spannmål?

Material och metoder

För att kunna besvara ovanstående frågor har olika undersökningar och datautvärderingar gjorts:

- Analys av mikronäringsämnen i arkiverade vetekärnor från långliggande fältförsök;
- Data från miljöövervakningsprogrammet '*Mark- och grödoinventeringen*' – mikronäringsämnen i spannmålskärnor och jordar;
- Nya fältförsök där veteplantor har provtagits 3 gånger under säsongen samt vid skörd. Vete har analyserats på halter och upptag av mikronäringsämnen;
- Analys av jordar på växttillgängliga mikronäringsämnen från nya fältförsök med olika metoder.

Grödprover har analyserats på totalhalter av mikroämnen efter uppslutning med konc. salpetersyra. Jord- och grödprover har analyserats på totalhalter. En del jordprover har analyserats på mikroämnen efter extraktion med CaCl_2 , och en ny metod, DGT (Diffusive Gradients in Thin films) har prövats.

Resultat och diskussion

Bortförel av mikronäringsämnen genom skördar kan kvantifieras – minskningen i jord kan ej fastställas genom analys av jordars totalhalter

När bortförel av mikroämnen med skörd inte ersätts genom tillförel med gödselmedel, förväntar man sig en utarmning av jordar vid långvarig odling. För att kvantifiera utarmningen har grödans bortförel av mangan (Mn) and zink (Zn) beräknats. Dessa ämnen tas upp av grödan i större mängd än övriga mikroämnen och förekommer i 'höga' (260-410 mg Mn kg^{-1} jord) respektive 'låga' halter (42-49 mg Zn kg^{-1} jord) i jord. Beräkningar visar att bortförel av dessa element med skörd under 50 år varierar mellan 3 och 9 kilo totalt (Tabell 1). Denna mängd motsvarar 0,14-0,35 % av jordens Mn-halt och 1,1-2,7% av jordens Zn-halt. Mängderna motsvarar följande förändringar i jord, 0,48-1,26 mg Mn kg^{-1} jord och 0,53-1,36 mg Zn kg^{-1} jord. Den naturliga variationen av

Tabell 1. Utarmning av Mn och Zn i jord genom bortförsel med skörd (Kirchmann et al., 2013).

Element	Gödsling	Mängden i jord (0-40 cm) (kg ha ⁻¹)	Bortförsel		Utarmning under 52 år	
			år ⁻¹	52 år	(%)	(mg kg ⁻¹ jord)
Mn	0 kg N	2387	0.063	3.3	0.14	351
	150 kg N	2475	0.163	8.5	0.35	364
Zn	0 kg N	326	0.069	3.6	1.1	47.9
	150 kg N	342	0.177	9.2	2.7	50.3

halter i jord inom samma behandling är dock större än minskningen som bortförsel med skörd har åstadkommit. Med andra ord, det går inte att detektera utarmningen av mikronäringsämnen under överskådlig tid i jord mellan olika gödsling genom analys av totalhalter.

Flöden av mikronäringsämnen visar ett nettotillskott till marken på djurgårdar och nettobortförsel av koppar, zink och molybden från marken på växtodlingsgårdar

Mikronäringsämnen tillförs marken genom gödselmedel och deposition från luften. En viss tillförsel kan ske genom kalk och växtskyddsmedel, som är mycket små och inte har tagits med i beräkningarna. Sammanställningen visar att den största bortförseln av mikronäringsämnen från fältet sker via skörden och skördenivån avgör. Bortförseln varierar mellan några enstaka gram per hektar och år för t.ex. nickel (Ni) och upp till ca 200 g för mangan och järn (Fe) vid höga skördar. Där gödsling enbart sker med mineralgödsel är balansen negativ för koppar, mangan, molybden och zink medan nedfallet av bor och Ni kompenserar för bortförseln (Tabell 2).

Fält som kontinuerligt får stallgödsel (eller avloppsslam) anrikas med mikronäringsämnen. Mängder som tillförs markens med organiska gödselmedel är dock väldigt liten i förhållande till mängden som finns i marken. Tillförseln av mangan är störst vid tillförsel av nötflytgödsel och ger en positiv balans på ca 560 g Mn ha⁻¹ år⁻¹. Idisslare har ett stort behov av Mn vid reproduktion, vilket gör att fodertillskottet av mangan är större till mjölkkor än t. ex. svin. Vårphöns har störst Mn-behov, vilket innebär att gödsling med hönsgödsel ger ett ännu

Tabell 2. Exempel på flöden av mikrönäringsämnen vid gödsling med nötflytgödsel (22 kg P ha⁻¹) och tre skördenivåer för höstvete (Hamnér et al., 2012).

Element	Skördenivå (kg ha ⁻¹)	Bortförsel med grödan (g ha ⁻¹ år ⁻¹)	Tillförsel via deposition (g ha ⁻¹ år ⁻¹)	Tillförsel via stallgödsel 22 kg P (g ha ⁻¹ år ⁻¹)	Balans (g ha ⁻¹ år ⁻¹)
B	4 000	-3,6	+13	+172	+181
	6 000	-5,4	+13	+172	+180
	8 000	-7,2	+13	+172	+178
Cu	4 000	-11,8	+10	+142	+136
	6 000	-18,3	+10	+142	+129
	8 000	-25,7	+10	+142	+122
Mn	4 000	-79,3	+12	+716	+610
	6 000	-123	+12	+716	+566
	8 000	-176	+12	+716	+513
Mo	4 000	-1,8	+0,3	+15	+13,5
	6 000	-2,8	+0,3	+15	+12,5
	8 000	-3,9	+0,3	+15	+11,4
Ni	4 000	-0,74	+2,5	+10	+7,9
	6 000	-1,16	+2,5	+10	+7,4
	8 000	-1,67	+2,5	+10	+6,9
Zn	4 000	-83,3	+80	+551	+540
	6 000	-130	+80	+551	+494
	8 000	-187	+80	+551	+437

större Mn-tillskott än med nöt- eller svinggödsel. Svinggödsel ger ett överskott på ca 550 g Zn ha⁻¹år⁻¹. Behovet av zink är större för svin än nötkreatur och zink tillsätts även till fodret vid avvänjningen av smågrisar för att undvika diarréer. Fastgödsel från smågrisproduktion har därför generellt högre halter av zink än flytgödsel från slaktsvin. När det gäller avloppsslam, så tillförs stora mängder koppar (Cu) som resulterar i en positiv balans på ca 280 g Cu ha⁻¹ år⁻¹.

Mikrönäringsämnen i organiska gödselmedel är inte mer växttillgängliga än de som finns i marken

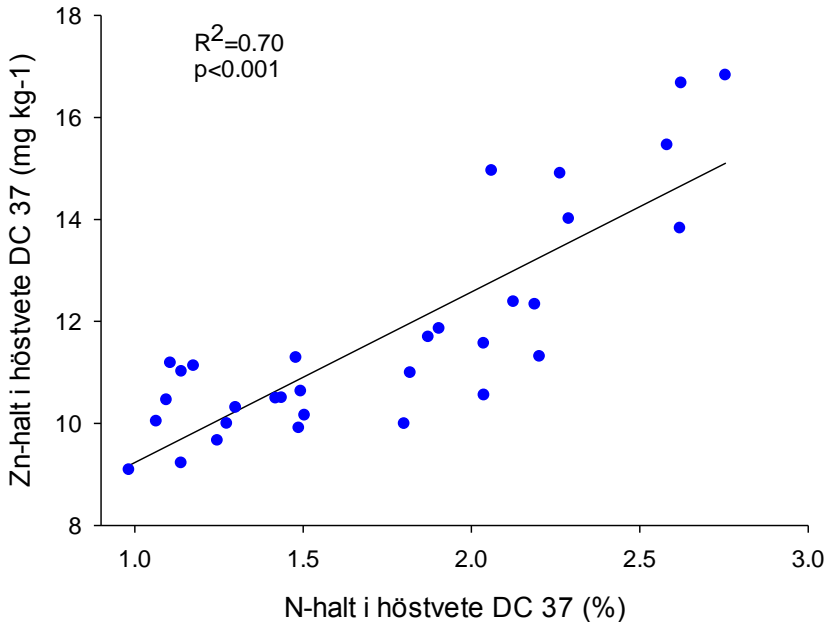
Tillförsel av organiska gödselmedel innebär en nettotillförsel av mikrönäringsämnen till marken. I ett antal långliggande fältförsök (bördighetsförsöken, slamförsöken i Skåne, och det markbiologiska försöket i Lanna), i vilka organiska gödselmedel tillförs regelbundet, har inverkan av olika former undersökts med avseende på grödans sammansättning. Arkiverade prov av spannmålskärnor har analyserats på innehåll av kadmium (Cd), koppar (Cu), mangan (Mn), molybden (Mo), zink (Zn) och selen (Se).

Jämförelsen av halter i grödor visade inga signifikanta skillnader mellan ogödslade, mineralgödslade eller organiskt gödslade led för de flesta ämnen. Metallkoncentrationerna förblev låga och påverkades inte av tillförsel av organiska gödselmedel. Enbart zinkhalter ökade något i grödor på vissa platser gödslade med organiska gödselmedel men resultaten är inte entydiga.

Resultaten kan förklaras av att växttillgängligheten av metaller i organiska gödselmedel är mycket låg. En stor del av bindningar av metaller till organiskt material är mycket stabila. Först vid nedbrytning av organiskt material blir metallerna växttillgängliga. På så sätt blir frigörelsen av metaller från organiska gödselmedel lägre eller åtminstone inte större än av metaller som redan finns i marken. Eftersom mängden metaller som tillförs med organiska gödselmedel är liten i förhållande till den befintliga mängden i mark, påverkas inte grödan av tillförseln.

Kvävegödsling ökar grödans upptag av mikronäringsämnen

Sedan många år pågår en diskussion huruvida kvävegödsling försämrar grödans kvalitet. Föreställningen om att kväve och andra mineraliska gödselmedel skulle ha en negativ inverkan på grödans kvalitet kan spåras tillbaka till en av upphovsmännen bakom den ekologiska odlingen. Tillförsel av växttillgängliga makronäringsämnen skulle innebära en sänkning av koncentrationer av andra vitala ämnen bl. a. mikronäringsämnen. Fältförsök med stigande kvävegivor visade det motsatta. Flera näringsämnen ökade i grödan med stigande kvävenivå - zink, koppar och bor men även makronäringsämnen kalium, svavel, kalcium och magnesium. Koncentrationen av mangan och järn förblev däremot oförändrade och verkar inte vara kopplade till kvävehalten i växten. Att ämnen som t.ex. svavel är starkt kopplat till kvävehalten är känt sedan tidigare, men våra resultat visar att det också verkar finnas ett positivt samband med flera mikronäringsämnen. Figur 1 visar ett tydligt positivt samband mellan kväve- och zinkhalten i höstvetete. Resultaten visar att när kvävehalten i grödan stiger så behövs också en högre halt av flera andra ämnen för att upprätthålla alla funktioner i växten. Det sker ingen utspädning av mikronäringsämnen i grödan vid ökad kvävegödsling när marken kan försörja en högavkastande grödan med tillräcklig mängd mikronäring. Lokalerna för kvävegödslingsförsöken låg till stor del på bördiga platser som har en god kapacitet att leverera näring till grödan. Detta visar också att resultaten kunde ha varit annorlunda om försöken hade



Figur 1. Sambandet mellan kväve- och zinkhalt i höstvete från 8 odlingslokaler i södra och mellersta Sverige som provtogs 2014 (Hamnér, 2015).

varit på sandiga jordar med ett högt pH-värde där markens leveransförmåga av mikronäring ofta är begränsad.

Kritiska koncentrationer för mikroämnen i vete bör definieras utifrån förhållandet till kvävehalten

I början av projektet försökte vi att definiera gränsvärden som visar brist och god försörjning på mikronäringsämnen i grödan. En omfattande sammanställning av litteraturdata samt data från 'Gröd- och markinventeringen' analyserades. Det visade sig dock att det inte gick. Ovanstående resultat kan vara orsaken. Grödans behov av mikronäringsämnen ökar med ökad N-halt, dvs. grödans behov varierar. För att kunna fastställa koncentrationer i grödan som indikator god eller dålig näringsstatus av mikronäringsämnen krävs att grödans kväveinnehåll inkluderas. För att få en så korrekt bedömning av näringsstatusen i växten verkar det mer relevant att

definiera en minsta kvot i förhållande till kväve som värdet bör ligga över. Detta arbete pågår fortfarande.

Publikationer från projektet

- Hamnér, K., Kirchmann, H. & Eriksson, J. (2012) Mikronäringsämnen i svensk spannmål. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för mark och miljö, Rapport 9. Uppsala.
- Kirchmann, H., Börjesson, G., Schön, M., Hamner, K. & Kätterer, T. (2013) Properties and classification of soils of the Swedish long-term fertility experiments. VII. Changes in subsoil properties after 50 years of nitrogen fertilizer application. *Acta Agriculturae Scandinavica Soil and Plant Science Section B* 63, 25-36.
- Hamnér, K. (2014). Tillgänglig mikronäring. Gödslingsstrategin avgör inte. Arvensis Nr 1.
- Hamnér, K. Eriksson, J. & Kirchmann, H. (2013). Nickel in Swedish soils and cereal grain in relation to soil properties, fertilization and seed quality. *Acta Agriculturae Scandinavica, Soil and Plant Science Section B* 63, 712-722.
- Hamnér, K. & Kirchmann, H. (2015) Limited impact of organic fertilizers on trace element concentrations in grains - analysis of cereals from Swedish long-term field trials. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* (submitted)
- Hamnér, K. (2015). Kvävegödsling ökar mikronäringsbehovet. Arvensis (under tryckning).
- Hamnér, K., Eriksson, J., Weih, M. & Kirchmann, H. (2015) Impact of nitrogen fertilization on nutrient uptake and stoichiometry in winter wheat (in preparation).

Slutsatser

- Intensiv provtagning av jordanalyser från ett bördighetsförsök (Örja) visar att trots långvarig och större bortforsel av mikronäringsämnen (mer än 50 år) i mest intensiv gödslade jämfört med ogödslade led, så kunde inga signifikanta skillnader i marken fastställas. Utarmningen sker mycket långsamt. Molybden är ämnet skulle kunna ge upphov till problem på kortast tid på platser med mycket låga Mo-halter.
- Tillförsel av organiska gödselmedel innebär ett nettotillskott av mikronäringsämnen till marken (import av fodermineral; koncentrerad av metaller i avloppsslam). Halter av mikronäringsämnen anrikas i marken på gårdar med djurhållning medan koppar, molybden och zink utarmas i marken på växtodlingsgårdar. Nedfallet av bor och nickel är tillräckligt stort för att kompensera bortförslarna med grödor.
- Sammanställningen av data från långliggande fältförsök i Sverige visar att långvarig och stor tillförsel av organiska gödselmedel (fastgödsel, flytgödsel eller avloppsslam) inte har någon signifikant effekt på koncentrationer av mikronäringsämnen i spannmålskärnor. Det gäller också icke önskvärda metaller, t.ex. kadmium. Slutsatsen är att växttillgängligheten av mikronäringsämnen i organiska gödselmedel är lägre än av befintliga mikronäringsämnen i marken. Organiska gödselmedel är ingen betydelsefull källa för mikronäringsämnen.
- Kvävegödsling ökar grödans behov av mikronäringsämnen. En gröda med högt kväveinnehåll har också högre halter av koppar, zink och bor medan järn och mangan inte påverkas. Någon 'utspädningseffekt' av mikronäringsämnen i grödan vid kvävegödsling har inte observerats.
- Kritiska koncentrationer av mikronäringsämnen i grödan är beroende av kvävehalten. Därför bör gränskoncentrationer definieras som kvot i förhållande till kvävehalten. Detta görs i slutfasen av projektet.

Resultatförmedling till näringen

Det finns flera resultat som är viktiga för det praktiska jordbruket:

1. Marken utarmas mycket långsamt på mikronäringsämnen. Trots bortförel med högavkastande grödor har inga signifikanta minskningar av mikronäringsämnen i marken kunnat analyseras efter 50 år.
2. Räkna inte med att organiska gödselmedel är en källa för mikronäring. Även mångårig tillförel har ingen inverkan på kärnans innehåll. Mikronäringsämnen i organiska gödselmedel är inte mer växtillgängliga än befintliga mikronäringsämnen i marken.
3. Förändringar i marken (t.ex. pH, rotpenetration av alven) påverkargrödans möjlighet till upptag av mikronäringsämnen.
4. En proteinrik gröda har ett större behov av mikronäringsämnen än en med låg proteinhalt. När marken leveransförmåga av mikronäringsämnen är begränsad och marken inte kan täcka grödans behov, vilket är mest sannolikt på lätta sandjordar med ett högt pH samt organogena jordar, behövs gödsling med mikronäring.
5. I framtiden kommer gränsvärden för mikroämnenhalter i grödan relateras i kvävehalter.