



# **Korrelation mellan jordens mikrobiella status och näringstäthet i grödor**

**- ger levande jord mer näringsrik mat?**

---

Frida Fredh

Examensarbete/Självständigt arbete • 15 hp

Sveriges lantbruksuniversitet, SLU

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap

Trädgårdsingenjör - Odling

Alnarp 2026



# Korrelation mellan jordens mikrobiella status och näringstäthet i grödor. Ger levande jord mer näringsrik mat?

*Correlation between soil microbial status and nutrient density in crops. Does living soil produce more nutrient dense food?*

Frida Fredh

**Handledare:** Hanna Williams, Sveriges Lantbruksuniversitet,  
Institutionen för Biosystem och Teknologi

**Examinator:** Lars Mogren, Sveriges Lantbruksuniversitet,  
Institutionen för Biosystem och Teknologi

**Omfattning:** 15 hp

**Nivå och fördjupning:** Grundnivå, G2E

**Kurstitel:** Självständigt arbete i trädgårdsvetenskap

**Kurskod:** EX0844

**Program/utbildning:** Trädgårdsingenjörsprogrammet - odling

**Kursansvarig inst.:** Institutionen för Biosystem och Teknologi

**Utgivningsort:** Alnarp

**Utgivningsår:** 2026

**Nyckelord:** jordhälsa, markmikroorganismer, näringsupptag, biotillgänglighet, dold hunger, mikronäringsämne, fytokemikalier, arbuskulär mykorrhiza, tillväxtfrämjande rhizobakterier

## **Sveriges lantbruksuniversitet**

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap

Institutionen för Biosystem och Teknologi

## Sammanfattning

Jordhälsa är ett begrepp som fått ökad uppmärksamhet och blir alltmer aktuell i takt med att världens jordbruksmark utarmas och jordens resurser börjar ta slut. Det moderna jordbruket har länge fokuserat på hög avkastning med hjälp av kemiska insatsvaror, som mineralgödsel och kemiska bekämpningsmedel, med en växande global mikronäringsbrist hos befolkningen till följd. Denna litteraturstudie undersöker sambandet mellan markens mikrobiella status och näringstäthet i grödor, med fokus på mikronäringsämnen järn och zink samt de hälsofrämjande bioaktiva ämnena polyfenoler och karotenoider, så kallade fytokemikalier. Studien baseras på vetenskapliga artiklar och rapporter och belyser vikten av markens biologiska funktioner för ett fungerande ekosystem som kan bidra till ett mer långsiktigt hållbart och näringsrikt livsmedelssystem.

Resultaten visar att markens mikrobiella aktivitet och mångfald i många fall sammanfaller med högre halter av järn, zink och fytokemikalier i grödor, detta genom mekanismer som ökad näringsmobilisering, kemiska förändringar i rotzonen och förbättrad rotutveckling. Samtidigt visar studien att sambanden är komplexa och kontextberoende och att effekterna varierar beroende på faktorer som växtart, sort, näringstillgång, klimat, odlingsmetoder, gödsling och jordtyp. Vidare visar studien även att högre koncentrationer av näringsämnen i grödor inte automatiskt innebär högre biotillgänglighet för människor, det vill säga hur stor del av näringen som människokroppen kan ta upp och tillgodogöra sig.

Slutligen belyser studien vikten av standardiserade definitioner och metoder att mäta jordhälsa och näringstäthet samt mer forskning för att bättre förstå sambanden mellan jordhälsa, näringstäthet och människors faktiska näringsupptag.

*Nyckelord:* jordhälsa, markmikroorganismer, näringsupptag, biotillgänglighet, dold hunger, mikronäringsämne, fytokemikalier, arbuskulär mykorrhiza, tillväxtfrämjande rhizobakterier

## Abstract

Soil health is a concept with increasing attention that has become more relevant with the depletion of agricultural land and losses of the earth's resources. Modern agriculture has focused on high yields through chemical inputs and with a growing global micronutrient deficiency in the population as a result. This literature review examines the correlation between the microbial status of the soil and nutrient density in crops, with focus on the micronutrients iron and zinc and the health-promoting bioactive compounds polyphenols and carotenoids, so called phytochemicals. The study is based on scientific articles and reports and highlights the importance of the soils biological functions for a functional ecosystem that can contribute to a more sustainable and nutrient rich food system.

The results shows that the microbial activity and diversity of the soil often coincides with higher concentrations of iron, zinc and phytochemicals in crops, through mechanisms such as increased nutrient mobilization, chemical changes in the root zone and improved root development. At the same time the study shows that these relationships are complex and context dependent and that the effects vary depending on factors such as species, cultivar, nutrient status, climate, farming methods, fertilization and soil type. Furthermore, the study shows that increasing concentration of micronutrients doesn't equal increasing bioavailability for humans, meaning how much of the nutrients the human body actually can absorb and utilize.

Lastly, the study highlights the importance of standardized definitions and methods for measuring soil health and nutrient density, as well as a need for further research to better understand the connection between soil health, nutrient density and human nutrient uptake.

*Keywords:* soil health, soil microorganisms, nutrient uptake, bioavailability, hidden hunger, micronutrients, phytochemicals, arbuscular mykorrhiza, plant growth promoting rhizobacteria

# Innehållsförteckning

<b>Förkortningar</b> .....	<b>6</b>
<b>1. Inledning</b> .....	<b>7</b>
<b>2. Frågeställning och syfte</b> .....	<b>8</b>
<b>3. Bakgrund</b> .....	<b>9</b>
3.1 Jordhälsa .....	9
3.2 Markens mikroorganismer .....	10
3.2.1 Arbuskulär mykorrhiza.....	11
3.2.2 Tillväxtfrämjande rhizobakterier .....	11
3.3 Mikronäringsämnen .....	12
3.3.1 Järnupptag .....	12
3.3.2 Zinkupptag.....	13
3.4 Bladgödsling .....	13
3.5 Fytokemikalier .....	14
3.6 Biotillgänglighet .....	14
<b>4. Metod</b> .....	<b>16</b>
<b>5. Resultat</b> .....	<b>17</b>
5.1 Fytokemikalier .....	17
5.2 Mikronäringsämnen .....	18
<b>6. Diskussion</b> .....	<b>21</b>
<b>Referenser</b> .....	<b>26</b>

# Förkortningar

FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
Fe	Järn
Zn	Zink
PLFA	Phospholipid fatty acid, fosfolipidfettsyra
AMF	Arbuskulär mykorrhiza
PGPR	Plant growth promoting rhizobacteria, tillväxtfrämjande rhizobakterier

# 1. Inledning

Dagens livsmedelssystem står inför stora utmaningar. Jordbruksmark utarmas, näringsinnehållet i grödor som odlas minskar samtidigt som kroniska sjukdomar och näringsbrist bland befolkningen ökar (Thomas 2003; Friedrich et al. 2016; Rockström et al. 2026). Trots ökade skördar under de senaste decennierna kvarstår ett omfattande globalt problem med mikronäringsbrist, så kallad ”dold hunger”, där cirka en fjärdedel av världens befolkning inte får i sig tillräckliga mängder av essentiella ämnen som järn och zink (Bailey et al. 2015; Amoroso 2016).

Det moderna jordbruket har länge fokuserat på att maximera avkastning genom användning av syntetiska gödselmedel, kemiska bekämpningsmedel och intensiv jordbearbetning, vilket i många fall kopplas till en försämring av markens biologiska funktioner (Montgomery & Biklé 2021). Markens mikroorganismer spelar en central roll för näringsomsättningen i marken och växters upptag av näringsämnen (Zhang et al. 2010; Mendes et al. 2013). Detta innebär att en försämrad jordhälsa med minskat biologiskt liv även skulle kunna påverka grödornas näringsinnehåll.

Trots denna kunskap har sambandet mellan markens biologiska status och livsmedlens näringstäthet fått begränsad uppmärksamhet. Forskning har i större utsträckning fokuserat på avkastning än på hur odlingsmetoder och markbiologi påverkar innehållet av mikronäringsämnen och viktiga bioaktiva ämnen i grödor.

## 2. Frågeställning och syfte

Syftet med denna litteraturstudie är att belysa om levande jordar kan bidra till mer näringstäta livsmedel, genom att undersöka sambandet mellan markens mikrobiologi och nivåer av mikronäringsämnen järn och zink samt fytokemikalierna polyfenoler och karotenoider i grödor. Mer specifikt så ska studien undersöka följande frågeställningar:

- Hur påverkar jordens mikrobiella status mängden polyfenoler och karotenoider i grödor?
- Hur påverkar jordens mikrobiella status mängden zink och järn i grödor?

## 3. Bakgrund

Under de senaste decennierna har innehållet av viktiga näringsämnen i frukt, grönsaker och spannmål minskat (Davis 2009; Mayer et al. 2022; Bhardwaj et al., 2024). Denna utveckling har kopplats till förändringar inom det moderna jordbruket och den så kallade Gröna Revolutionen. Denna skedde efter andra världskriget och hade som mål att snabbt öka livsmedelsproduktionen för att motverka svält och försörja en växande befolkning (Bhardwaj et al. 2024; Boincean 2024). Produktionen fokuserade primärt på tre basgrödor: ris (*Oryza sativa*), vete (*Triticum aestivum*) och majs (*Zea mays*), vilka idag är de tre mest odlade spannmålsgrödorna globalt (Bouis & Welch 2010; FAO 2025). Den Gröna Revolutionen innebar en omfattande intensifiering av jordbruket genom förädling av högavkastande sortmaterial, användande av syntetiska gödselmedel och kemiska bekämpningsmedel samt mekanisering och effektiviserade bevattningssystem.

### 3.1 Jordhälsa

Begreppet jordhälsa beskriver jordens förmåga att fungera som ett levande och livsviktigt system inom ekosystemets och markanvändningens ramar (Doran & Zeiss 2000). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) definierar jordhälsa så här:

”Jordens förmåga att fungera som ett levande system, inom ekosystemets och markanvändningens gränser, för att upprätthålla växt- och djurproduktion, bevara eller förbättra vatten- och luftkvalitet samt främja växters och djurs hälsa. Friska jordar upprätthåller en mångfald av jordorganismer som bidrar till att kontrollera växtsjukdomar samt skadedjur som insekter och ogräs, bildar gynnsamma symbiotiska samband med växtrötter; återcirkulerar viktiga växtnäringsämnen; förbättrar jordstrukturen med positiva effekter på jordens vatten- och näringshållande förmåga, och förbättrar i slutändan skördeproduktionen” (FAO 2008)

Fokus inom jordbruket har länge varit på markens fysikaliska och kemiska egenskaper, ofta med stort beroende av externa insatsvaror såsom mineralgödsel och kemiska växtskyddsmedel. De intensiva odlingsystem som i många delar av världen bidragit till utarmning av jordar, i kombination med klimatförändringar, ökad torka och extrema väderhändelser, gör att vi i stället bör fokusera på markens biologiska egenskaper och se marken som ett levande ekosystem som måste förvaltas rätt för att kunna fungera optimalt (Moebius-Clune et al. 2016). Till skillnad från begreppet markkvalitet, som främst anses syfta till markens användning och produktionsförmåga, speglar jordhälsa egenskaper som visar hur väl jorden fungerar som ett levande ekosystem på lång sikt. Dessa egenskaper är

kopplade till markbiotan: biodiversitet, näringsvävsstruktur, biologisk aktivitet och dess funktioner (Pankhurst 1998).

En hälsosam jord är mer motståndskraftig och påverkas mindre av biotisk och abiotisk stress. Många faktorer spelar in för att en jord ska vara hälsosam; markstruktur, vattenhållande förmåga, porositet, mullhalt, pH, biologisk mångfald etc. (Friedrich et al. 2016; Moebius-Clune et al. 2016). Markorganismer och dess mångfald är vad som gör jorden levande och som hjälper marken att stå emot skadegörare, skadliga markorganismer, binda kol samt att cirkulera näring (Rockström et al. 2026).

## 3.2 Markens mikroorganismer

Marken utgör habitat för en stor mängd mikroorganismer. Dessa organismer inkluderar bakterier, svampar, nematoder, oomyceter, protozoer, alger, virus och leddjur och bildar tillsammans ett komplext ekosystem som bryter ner och mineraliserar organiskt material och frigör och omvandlar oorganiska näringsämnen (Marschner et al. 2011; Mendes et al. 2013; Banerjee & Van Der Heijden 2023). Markens organismer är känsliga för förändringar i markanvändning och klimat och har därför stark koppling till viktiga ekosystemfunktioner, som näringsomsättning (Doran & Zeiss 2000). Markrespiration är ett mått på den biologiska aktiviteten i marken, där mängden koldioxid (CO<sub>2</sub>) som frigörs ifrån marken till följd av mikroorganismers metabolism mäts. Det kan därför fungera som en indikator för jordhälsa (Pankhurst 1998; Bionutrient Institute 2022). PLFA-analyser (phospholipid fatty acid analysis) används för att uppskatta mikrobiell biomassa och dess sammansättning (Norris et al. 2023). Fosfolipidfettsyror är komponenter i cellmembranen hos mikroorganismer som snabbt bryts ner när cellen dör. Olika grupper av mikroorganismer, exempelvis bakterier eller svampar, har olika fettsyraprofiler vilket gör att mängden PLFA i marken därför fungerar som en indikator på den totala levande mikrobiella biomassan samt vilka grupper som dominerar (ibid.).

Växtrötter tar upp näringsämnen från marken genom rhizosfären, den smala zonen runt rötterna där växter, jord och mikroorganismer samverkar (Zhang et al. 2010). Processerna här, både kemiska och biologiska, spelar en avgörande roll för frigöring och upptag av växtnäring samt för den mikrobiella aktiviteten. Genom rotexudat påverkar växterna vilka mikroorganismer som finns i rhizosfären. Rotexudat består av ämnen som mikroorganismerna snabbt kan använda som energikälla, vilket gör att den mikrobiella tätheten och aktiviteten är högre i rhizosfären än i den omgivande jorden (Marschner et al. 2011). Markens mikroorganismer bryter ner organiskt material och reglerar tillgången på

näringsämnen, vilket i sin tur påverkar växternas tillväxt och näringsupptag. Bakterier och svampar lagrar näringsämnen i sin biomassa och frigör dem igen när de bryts ner eller äts av andra mikroorganismer (Zhang et al. 2010; Marschner et al. 2011).

Kvävefixerande bakterier, arbuskulär mykorrhiza och växttillväxtfrämjande rhizobakterier har en viktig roll för påverkan av växternas näringsstatus och tillhör några av de mest välstuderade nyttiga organismerna i rhizosfären (Zhang et al. 2010).

### 3.2.1 Arbuskulär mykorrhiza

Mykorrhiza är en symbios mellan marklevande svampar och växters rötter. Arbuskulär mykorrhiza (AMF) bildas av svampar inom fylumet *Glomeromycota* och är den vanligaste typen hos jordbruksgrödor (Caspersen & Oskarsson 2024). Cirka 80% av alla växter har förmåga att bilda en sådan symbios. Mykorrhizasvamparna sprider sig med sporer som bildas på hyfer (svamptrådar) i marken. Deras utveckling stimuleras av signalmolekyler som utsöndras från växternas rötter och som möjliggör att svampen kan kolonisera roten (ibid.). AMF är obligat mutualist, vilket betyder att den är beroende av en värdväxt för överlevnad och förökning (Berruti et al. 2016). Genom dess mycel möjliggörs en större kontaktyta och näringsupptag för växtens rotsystem (ibid.). I utbyte mot mineralnäringsämnen får AMF lipider och kolhydrater från växten (Caspersen & Oskarsson 2024).

### 3.2.2 Tillväxtfrämjande rhizobakterier

Tillväxtfrämjande rhizobakterier, eller PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria), är en grupp bakterier som finns i rhizosfären och på rotytor och som kan förbättra växters tillväxt och kvalitet samt kontrollera växtpatogena mikroorganismer (Ahmad et al. 2008). Dessa inkluderar arter som *Pseudomonas*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Alcaligenes*, *Arthobacter*, *Burkholderia*, *Bacillus* och *Serratia* (ibid.). Utifrån deras samspel med växter kan PGPR delas in i symbiotiska bakterier, som är beroende av symbios med en värdväxt, samt frilevande rhizobakterier som förekommer utanför växtcellerna i rhizosfären (Vejan et al. 2016). PGPR kan främja växttillväxt genom både direkta och indirekta mekanismer. Direkta som förbättrad näringstillgång genom stimulering av rottillväxt och växtstimulerande ämnen, indirekta genom att minska eller förhindra skadliga effekter från växtpatogena mikroorganismer (Ahmad et al. 2008).

### 3.3 Mikronäringsämnen

Jordens innehåll av mikronäringsämnen kommer från både minerogent och organogent material. Växttillgängligheten av mikronäringsämnen beror på markfaktorer som till exempel pH, biologisk aktivitet, mullhalt, katjonbyteskapacitet, lerhalt samt mikrobiella processer (White & Zasoski 1999; Fageria et al. 2002). Zink (Zn), järn (Fe), koppar (Cu), magnesium (Mg), molybden (Mo) och bor (B) är essentiella mikronäringsämnen för växter och avgörande för att upprätthålla viktiga funktioner som exempelvis fotosyntes och tillväxt (Fageria et al. 2002; Assunção et al. 2022). Alla ovanstående näringsämnen utom bor (B) är även essentiella för människan och trots att mikronäringsämnen bara behövs i mycket små mängder (från mikrogram till milligram per dag) är de avgörande för människors hälsa (Livsmedelsverket 2026). För lågt intag kan hämma viktiga funktioner i kroppen, som immunförsvar, hjärnfunktion, reproduktionssystem och energimetabolism (Bailey et al. 2015). Brist kan därför leda till inlärningsproblem, försämrad arbetsförmåga, hämrad mental och fysisk utveckling, kroniska sjukdomar och i värsta fall död (Graham et al. 2001; Amoroso 2016; Assunção et al. 2022). Förutom undernäring kan detta också leda till överviktsproblem och fetma (Friedrich et al. 2016).

Järn- och zinkbrist är de mest utbredda mikronäringsbristerna hos människor, vilket är varför dessa kommer behandlas i denna uppsats. Cirka 25% av världens befolkning riskerar otillräckligt zinkintag medan järnbrist påverkar 30% av den globala populationen (Wuehler et al. 2005; Alloway 2009; Bailey et al. 2015). Markens totala innehåll av både järn och zink är oftast mycket större än grödornas behov. Bristen i grödor beror främst på att dessa ämnen är bundna i organiska molekyler och därmed inte finns i tillgänglig form för växterna att ta upp samt växternas begränsade förmåga att absorbera dem (White & Zasoski 1999).

Halten av mikronäringsämnen i växter påverkas av flera faktorer, som växtart, genotyp, utvecklingsstadium, jordegenskaper (pH, syretillgång, vattentillgång, mullhalt), temperatur och mikrobiella processer i rhizosfären. Forskning har visat betydande variationer i koncentrationen av exempelvis järn och zink i olika grödor och sorter samt under olika miljö- och odlingsförhållanden (Martínez-Ballesta et al. 2011; Waters & Sankaran 2011).

#### 3.3.1 Växters järnupptag

Både mikroorganismer och växter har utvecklat mekanismer för att effektivisera upptaget av järn från marken, då detta främst finns i oxiderad form som  $\text{Fe}^{3+}$  (ferrijärn), vilket ofta är bundet i svårlösliga mineral och kemiska föreningar (Colombo et al. 2014). Växter använder främst två strategier:

Strategi I (hos tvåhjärtbladiga växter) innebär att växten sänker pH i rhizosfären genom protonutsöndring, vilket ökar lösligheten av  $\text{Fe}^{3+}$ . Järnet reduceras sedan till  $\text{Fe}^{2+}$  och tas upp i rotceller via specifika transportproteiner.

Strategi II (hos gräs) bygger i stället på att växten utsöndrar fyto sideroforer, små molekyler som binder  $\text{Fe}^{3+}$  och gör det tillgängligt för upptag av roten via transportproteiner (Jin et al. 2014; Porkodi et al. 2023).

Även om dessa strategier förbättrar järnupptaget visar forskning att de ofta inte är tillräckliga för att helt motverka brist i jordar med låg växttillgänglighet av järn (Jin et al. 2014). Detta gäller särskilt under förhållanden där järn förekommer i svårösliga former, som i alkaliska jordar (ibid.)

Både växter och mikroorganismer utsöndrar organiska syror, som citrat, oxalat och malat, som potentiellt kan förändra koncentrationen av järn i marken och därmed öka dess tillgänglighet. Mikroorganismer kan även producera signalämnen (som auxin och etylen) och fyto kemikalier (som fenoler) vilka kan stimulerar växtens järnupptag (Jin et al. 2010; 2014).

### 3.3.2 Växters zinkupptag

Zink är ett svårörligt ämne i marken som förekommer i flera olika kemiska former och som transporteras till roten främst genom diffusion i marken (Cakmak 2008). Växter tar främst upp zink som  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{ZnOH}^+$  och som komplex bundna till lösliga organiska ämnen (Gao et al. 2007). Växttillgängligheten påverkas av flera faktorer, som pH, höga halter av fosfor och mullhalt (ibid.). Forskning visar att öknings i markens pH är starkt kopplade till stora minskningar av zinkkoncentration i växtvävnader (Cakmak 2008). Även markfuktighet är en avgörande faktor för att möjliggöra tillräcklig diffusion av zink till rötterna, vilket gör att zinkupptaget påverkas negativt under torka (ibid.). Det finns även ett starkt samband mellan markens innehåll av organiskt material och koncentrationen av lösligt zink i rhizosfären (Catlett et al. 2002).

## 3.4 Bladgödsling

Bladgödsling är en gödslingsmetod där näringsämnen appliceras direkt på växtens blad genom besprutning, i stället för att tillföras via jorden. Näringsämnena tas upp genom bladytan via klyvöppningarna och transporteras vidare till växtens olika vävnader och organ. Bladgödsling används ofta som komplement till markgödsling och kan bidra till förbättrad skörd och minska näringsbrist hos växter. Men det kan även användas för att öka biotillgängligheten av mikronäringsämnen i växtens ätbara delar (Ishfaq et al. 2022). Effektiviteten är hög eftersom näringsämnena används direkt i växten och eventuella förluster genom marken undviks (Fageria et al. 2009).

Till skillnad från markgödning påverkas bladgödning i mindre grad av markfaktorer som annars kan försvåra näringsupptaget, såsom pH, torra, låg mullhalt och låg biologisk aktivitet, vilket gör att bladgödning kan vara särskilt effektivt i jordar där växttillgängligheten av mikronäringsämne är låg (Ishfaq et al. 2022).

### 3.5 Fytokemikalier

Fytokemikalier är ett samlat begrepp för bioaktiva kemiska ämnen i växter som, även om de inte klassificeras som näringsämne, fyller viktiga hälsofrämjande funktioner både hos växter och människor (Huang et al. 2016). Hos växter fyller fytokemikalier funktioner som bland annat skydd mot sjukdoms- och skadedjursangrepp samt abiotisk stress och de kan attrahera insekter för pollinering (Liu 2013; Huang et al. 2016).

Två av de viktigaste hälsofrämjande grupperna av fytokemikalier för människor är karotenoider (som  $\beta$ -karoten och lykopen) och polyfenoler (som flavonoider), vilka också är de som kommer behandlas i denna uppsats. Karotenoider är naturliga, fettlösliga molekyler som syntetiseras i växter, alger, svampar, jäst och bakterier och ger upphov till färgerna gult, orange och rött (Krzyzanowska et al. 2010). Flavonoider fungerar bland annat som pigment och skydd mot UV-strålning, mikroorganismer och stress hos växter (Meltzer & Malterud 1997; Mogren et al. 2007). Det är även ett av de ämnen som växtrötter utsöndrar via rotexudat för att attrahera gynsamma mikroorganismer till rhizosfären (Jacoby et al. 2017). Karotenoiders och flavonoiders antioxidativa egenskaper tros utgöra den främsta mekanismen bakom deras positiva effekter för människor (Rao & Rao 2007). Forskning visar att de kan förebygga hjärt- och kärlsjukdomar, olika cancerformer och vissa kroniska sjukdomar (Rao & Rao 2007; Krzyzanowska et al. 2010; Campos-Vega & Dave Oomah 2013). Vissa flavonoider har även visat antiinflammatoriska, anti-allergiska, antibakteriella och antidiabetiska egenskaper (Krzyzanowska et al. 2010).

Frukt och grönsaker är rika på karotenoider och flavonoider, men även fullkorn och rotfrukter är viktiga kostkällor (Liu 2013). Flera faktorer påverkar nivån av fytokemikalier i grödor; sortval, temperatur, solljus, vattentillgång, gödning och skördetidpunkt (Mogren et al. 2007; Tiwari & Cummins 2013). Vissa polyfenoler fungerar även som antinutrientier, vilka minskar biotillgängligheten av järn och zink i grödor (Bouis & Welch 2010).

### 3.6 Biotillgänglighet

Biotillgänglighet är en central aspekt när det kommer till grödors näringsinnehåll eftersom ett högt näringsinnehåll i grödan inte nödvändigtvis innebär att dessa

ämnen kan tas upp och användas av människokroppen. Biotillgänglighet beskriver hur stor del av ett näringsämne eller fytochemikalie i en gröda som kroppen faktiskt kan ta upp och använda (La Frano et al. 2014). Forskning visar att endast cirka 5% av det totala järninnehållet och cirka 25% av det totala zinkinnehållet i frö och spannmål är biotillgängligt (Bouis & Welch 2010), även om detta varierar mellan arter och sorter. Flavonoiders biotillgänglighet är också begränsad och varierar mellan olika grödor. Biotillgänglighet är dock svårt att mäta eftersom flera faktorer samverkar och påverkar upptaget hos människor såsom antinutrient, näringsämnets kemiska form, främjande ämnen i kosten, livsmedelsbearbetning och kostens sammansättning (Lucarini et al. 2000; Bouis & Welch 2010).

## 4. Metod

Litteratursökning har genomförts med hjälp av vetenskapliga databaser och söktjänster, främst Web of Science och Google Scholar. Litteraturen har granskats och sammanställts med syfte att extrahera relevant information för att kunna besvara frågeställningarna och identifiera kopplingar mellan jordhälsa och grödors näringstäthet. I första hand har vetenskapligt granskade artiklar använts men litteraturen har kompletterats med rapporter från forskningsinstitutioner och internationella organisationer. Även citerade referenser i utvald litteratur har granskats som komplement till sökningarna.

Sökningar har gjorts med hjälp av relevanta sökord och kombinationer av dessa, såsom: "soil health", "soil management", "nutrient density", "micronutrients", "phytochemicals", "soil microbiom", "soil microorganisms", "PGPR", "arbuscular mykorrhiza", "AMF", "bioavailability".

AI i form av ChatGPT har använts som stöd för kompletterande litteratursökning och i vissa fall översättning av stycken eller meningar ur litteraturen till svenska.

### 4.1 Avgränsningar

Eftersom litteraturen omfattar studier med varierande mätmetoder och definitioner av jordhälsa och näringstäthet avgränsades arbetet till att fokusera på studier som undersökte sambandet mellan markens mikrobiella funktioner och grödors upptag och innehåll av järn, zink och fytokemikalier.

## 5. Resultat

### 5.1 Fytokemikalier

Flera studier visar ett positivt samband mellan jordens mikrobiella aktivitet och halter av fytokemikalier i grödor. Inokulering av PGPR-bakteriestammar (tillväxtfrämmande rhizobakteriestammar) ökade koncentrationen av polyfenoler i aloe vera (*Aloe vera L. Burm.f.*) (Chandel et al. 2025). Inokulering med AMF (arbuskulär mykorrhiza) ökade halterna av karotenoider, flavonoider och antioxidanter i sorghum (*Sorghum bicolor*) (Abdelhalim et al. 2022) och sallat (*Lactuca sativa*) (Baslam et al. 2013).

Ordookhani et al. (2010) rapporterade liknande resultat i tomat (*Solanum lycopersicum*) som odlades i krukor med lika delar åkerjord, flodsand och torv och inokulerades med tre olika PGPR och AMF. Försöket visade att innehållet av lykopen och antioxidantaktiviteten ökade i samtliga behandlingar, jämfört med den obehandlade kontrollgruppen, men att ökningen var störst i behandlingen inokulerad med samtliga PGPR i kombination med AMF.

I ett växthusförsök undersökte Fu et al. (2025) tre olika lysobacterbakteriers roll i att förbättra tomatfruktens kvalitet och granskade det mikrobiella samspelet med växterna. Försöket, där bakterierna inokulerades i osteriliserad åkermarksjord, visade ett tydligt samband mellan bakteriernas aktivitet och ökade nivåer av flavonoider och lykopen i tomaterna. Försöket visade även att de tre lysobacter-behandlingarna stimulerade aktiviteten hos enzymer i jorden som är kopplade till näringsmineralisering. Vidare ökade Lysobacterstammen *L. fragarie* mångfalden i rhizosfärens mikrobiom och fler gynsamma mikroorganismer (som *Bacillus subtilis*, *Lysobacter* och *Trichoderma harzianum*) påvisades jämfört med kontrollgruppen. Växtpatogener, som *Alternaria* och *Fusarium*, minskade i jordarna inokulerade med *L. fragarie*, men ökade i kontrollgruppen.

Liknande resultat visade Giovannetti et al. (2012) som undersökte sambandet mellan näringsinnehållet i tomater och symbiosen med AMF i ett krukförsök där AMF inokulerades i steriliserad jord. Resultatet visade att de inokulerade plantorna gav frukt med cirka 18% högre lykopeninnehåll jämfört med kontrollgruppen.

Studier visar även att kombinationer av olika mikroorganismer kan ge större effekt än inokulering av enskilda mikroorganismer, till exempel så undersökte Khalid et al. (2017) effekterna av inokulering av två olika AMF-stammar (*Glomus fasciculatum* och *Glomus mosseae*) i steriliserad jord, i förhållande till tre olika rhizobakterier: kvävefixerande (*Azotobacter chroococcum*), kaliumlösande

(*Bacillus mucilaginosus*) och fosforlösande (*Bacillus megaterium*) och deras påverkan på nivåerna av antioxidanter och fytochemicalier i spenat (*Spinacia oleracea*). Resultatet visade att rotkolonisationen av AMF ökade i närvaro av bakteriell inokulering jämfört med behandlingar där endast individuella inokuleringar användes. Även antioxidantaktiviteten i växten var högst vid kombinerad inokulering. Samtliga behandlingar med mikroorganismer ökade flavonoidnivåerna jämfört med kontrollgruppen, medan behandling med syntetiska gödselmedel minskade både flavonoidhalter och antioxidantaktivitet.

En omfattande datainsamling från Bionutrient Institute, baserad på 3662 prover från 20 olika grödor från 161 odlare i USA och Europa, visade att högre biologisk aktivitet i jorden korrelerade med högre halter av antioxidanter och polyfenoler i grödor. I studien användes bland annat markrespiration och kolhalt i marken som indikatorer på biologisk aktivitet. System med låg biologisk aktivitet, som hydroponiska system och växthusodlingar, visade generellt lägre näringsvärde jämfört med odling i biologiskt aktiva jordar (Bionutrient Institute 2022). Denna sammanställning är dock inte vetenskapligt publicerad.

## 5.2 Mikronäringsämnen

Fler studier visar på ett samband mellan jordens mikrobiella status och dess påverkan på växters upptag av järn och zink. Mikroorganismer hjälper till att öka tillgängligheten av järn genom att producera sideroforer (Colombo et al. 2014). Dessa binder järn starkare än växternas egna fyto sideroforer vilket gör att mikroorganismer både kan konkurrera med växter om järn och samtidigt förbättra järnets växttillgänglighet genom mobilisering, omvandling och omsättning av näringsämnen i den mikrobiella biomassan (ibid.). Den mikrobiella biomassan fungerar därför som ett dynamiskt lager av järn för växterna.

I en studie av Jin et al. (2010) undersöktes mikroorganismers roll för att förbättra rödklöver (*Trifolium pratense*) järnupptag samt hur växtens järntillgång påverkade mikroorganismer i rhizosfären. Resultatet visade att hos plantor med järnbrist var antalet siderofor-producerande mikroorganismer större än hos plantor utan brist. Antalet icke-siderofor-producerande mikroorganismer var däremot högre i plantor med tillräcklig järnförsörjning. Studien visade även att det fanns en signifikant högre koncentration av fenolföreningar i rhizosfären hos plantor med järnbrist. Vidare visade studien att växter kunde använda järn bundet till sideroforer effektivare än järn i form av bladgödsling (Fe-EDTA), då järnkonzentrationen i både rötter och skott var högre i behandlingen med sideroforbundet järn än i behandlingen som använde bladgödsling som järnkälla. Resultatet tyder på att järnbrist hos rödklöver kan förändra sammansättningen av mikroorganismer i rhizosfären, sannolikt genom utsöndring av fenolföreningar

från rötterna, och på så sätt förbättra lösligheten och upptaget av järn genom ökad mikrobiell produktion av sideroforer.

För att undersöka skillnaden mellan växters strategi I och II undersökte Rroço et al. (2003) mikroorganismers roll för järnupptag hos sorghum (*Sorghum bicolor*) och raps (*Brassica napus*). Sorghum, som är en gräsväxt och därmed tillämpar strategi II utsöndrar fyto sideroforer, medan raps tillämpar strategi I. Studien jämförde järnkonzentrationen i rötter och blad av sorghum och raps odlad i naturlig respektive steriliserad jord. Resultatet visade signifikant lägre järnkonzentration i rötter och blad och tydliga tecken på järnbrist hos de sterilt odlade plantorna av både sorghum och raps, även om sorghum visade bättre tillväxt. Detta indikerar att markens mikrobiella aktivitet är avgörande för järnupptag för raps och av stor vikt även för sorghum, trots sorghums förmåga att utsöndra fyto sideroforer.

Mikroorganismer kan även stimulera växters egna näringsupptagssystem genom hormonliknande signaler samt genom att främja rotutveckling. Rana et al. (2012) visade att inokulering med PGPR i kombination med NPK-gödsling ökar järnkonzentrationen i vete (*Triticum aestivum*) jämfört med enbart NPK-gödsling. För zink framstår AMF som särskilt betydelsefull. Watts-Williams et al. (2015) visade att rotkolonisering av AMF kunde bidra med upp till 24 % av tomaters zinkupptag till skotten. Studien visade att sambandet spelade störst roll vid låg zink tillgång. När zinkhalten i jorden ökade, ökade det totala zinkupptaget i både rötter och skott, men andelen som transporterades via AMF minskade.

Ett växthusförsök där majsplantor inokulerats med AMF och gödslats med olika nivåer av zink gav liknande resultat (Subramanian et al. 2009). Försöket visade att plantor som inokulerats med AMF hade högre halter av zink i både blad och majs kärna. Försöket visade även att den växttillgängliga zinkhalten i jord som inokulerats med AMF var högre än jord som inte hade inokulerats, samt att effekten av AMF var större vid lägre nivåer av zinkgödsling.

En meta-analys av 104 studier visade att AMF generellt ökade zinkkonzentrationen i grödors vävnader, men att effekten varierade beroende på jordförhållanden och växtslag (Lehmann et al. 2014). Analysen visade samtidigt att effekten av mineraliska zinkgödselmedel tillfört via jord eller bladgödsling ofta var större på kort sikt, medan AMF associerades med fler positiva effekter kopplade till jordhälsa, som exempelvis reducerad jordbearbetning och minskad användning av pesticider och mineralgödsel.

Ryan et al. (2008) undersökte växtupptaget av zink i vetekärnor i relation till mineralfosfor och AMF. Fosforgödsling ökade skörden med 76%, jämfört med kontrollgruppen utan fosfor. Däremot minskade zinkkonzentrationen i vetekärnan

med 36% i behandlingen med fosforgödsling. Vidare minskade kolonisationen av AMF på vetets rötter till följd av fosforgödsling, vilket visar på ett samband mellan vetekornens zinkkoncentration och nivåer av AMF. En studie av Zhang et al. (2012) visade på liknande samband, där fosforgödsling minskade koncentrationen av zink i vetekärna med 17-56%, trots ökad total biomassa. Även här tillskrivs sambandet med AMF som en orsak till minskningen.

En annan studie visade att AMF ökade zinkhalten i tomater med 28%, medan någon motsvarande ökning av järninnehållet inte kunde påvisas (Giovannetti et al. 2012). Zinati et al. (2025) rapporterade däremot att inokulering av AMF verkade öka järnkoncentrationen i sockermajskärnor, även om naturligt förekommande AMF-populationer redan var koloniserade. Detta indikerar att en större mångfald av mikrobiella samhällen skulle kunna påverka grödors näringsupptag positivt.

De flesta studier har gjorts med inokulering av olika mikroorganismer, men en studie som har undersökt andra faktorer kopplat till biologisk aktivitet är Rodale Farming System Trial som visade på ett tydligt samband mellan markens organiska material och förbättrat näringsinnehåll i grödor. Ökad mullhalt ledde till högre 40% högre koncentration av zink och 23% högre koncentration av järn i bladvävnaden hos havre (*Avena sativa*). Samma studie visade även samband mellan högre antioxidantnivåer i tomat, morot och jalapeño och ökad mullhalt. Studien framhöll att ökad aktivitet och mångfald av AMF var viktiga mekanismer som sannolikt bidrog till resultaten. Vidare betonade studien att markens påverkan på växternas näringsinnehåll kunde hänga samman med ökade halter av sekundära metaboliter, som antioxidanter, och högre nivåer av mineraler (Hepperly et al. 2018).

Fytokemikaliers påverkan på biotillgängligheten av järn och zink varierar. Resultaten från Jin et al. (2010) tyder på att fenoliska ämnen kan bidra till att förbättra löslighet och växtupptag av järn. I en studie av Graham et al. (2001) visar resultatet att  $\beta$ -karoten kan öka biotillgängligheten av järn, medan resultatet av en studie av Lucarini et al. (2000) tyder på att polyfenoler kan minska biotillgängligheten av järn, i synnerhet i kombination med andra hämmande faktorer som exempelvis fytat.

## 6. Diskussion

Syftet med denna studie var att undersöka sambandet mellan jordens mikrobiella status och näringsstätheten i grödor, med fokus på mikronäringsämnen zink och järn samt fytokemikalierna polyfenoler och karotenoider. Resultaten visar sammantaget att mikroorganismerna i marken spelar en viktig roll för grödors näringsinnehåll, men att sambanden är komplexa och påverkas av flera biologiska, kemiska och agronomiska faktorer.

Samspelet mellan växter och mikroorganismer påverkas genom flera samverkande mekanismer, som förbättrad näringsmobilisering, ökad rotutveckling, kemiska förändringar i rhizosfären och ökad mikrobiell omsättning av näringsämnen. Effekten av detta samspel varierar mellan växtarter och växters fysiologi och är en förklaring till variationen i resultaten. Växter använder även olika strategier för upptag av järn och andra mikronäringsämnen, vilket påverkar hur beroende de är av mikroorganismer i rhizosfären. Rroço et al. (2003) visade exempelvis att både sorghum och raps påverkades negativt av steril jord, men att sorghum ändå visade på bättre tillväxt tack vare sin förmåga att använda strategi II och utsöndra fytosideroforer. Detta tyder på att vissa växtarter är bättre anpassade till låg järntillgänglighet än andra och därför påverkas olika mycket av förändringar i markens mikrobiella status.

Resultaten från Jin et al. (2010) antyder att växter aktivt påverkar vilka mikroorganismer som etablerar sig i rhizosfären genom rotexudat. Under järnbrist förändrades sammansättningen av mikroorganismer i rhizosfären vilket tyder på att växten kan rekrytera mikroorganismer som bidrar till förbättrad mobilisering och upptag av järn och att växtens näringsstatus därmed delvis styr mikrobiomets sammansättning. Samtidigt tyder resultaten från Fu et al. (2025) på att vissa mikroorganismer även kan påverka rhizosfärens mikrobiella samhälle i en riktning som gynnar växtens hälsa och näringsupptag. Inokulering med *Lysobacter*-stammar ökade förekomsten av gynnsamma mikroorganismer samtidigt som potentiella växtpatogener minskade. Detta antyder att "rätt" mikroorganismer i rhizosfären inte bara kan bidra med näringsmobilisering, utan även skapa mikrobiella samhällen där gynnsamma populationer främjas och patogener motverkas.

Effekten av AMF (arbuskulär mykorrhiza) på zinkupptag var störst vid låg zinktilgång i jorden enligt Watts-Williams et al. (2015), medan effekten minskade när zinknivåerna ökade. Detta beror troligen på att växter vid högre zinktilgång i större utsträckning kan ta upp zink direkt via rötterna utan hjälp av AMF. Liknande samband kan sannolikt gälla även för andra näringsämnen.

Markens pH, mullhalt, lerhalt och katjonbyteskapacitet påverkar näringsämnenas löslighet, vilket sannolikt även påverkar hur stor betydelse mikroorganismerna får för näringsmobilisering. I alkaliska jordar, där järn ofta förekommer i svårlöslig form, kan exempelvis sideroforproducerande mikroorganismer få större betydelse än i jordar där järn redan är relativt lättillgängligt (Jin et al. 2010; Colombo et al. 2014).

Resultaten från Khalid et al. (2017) och Ordookhani et al. (2010) tyder på att en större mikrobiell mångfald i rhizosfären kan vara gynnsam för växters näringsupptag och produktion av fyto kemikalier. I båda studierna gav kombinationer av flera olika mikroorganismer större effekt än enskilda inokuleringar, både vad gäller antioxidantaktivitet och halter av flavonoider och lykopen. Liknande resultat observerades av Zinati et al. (2025) gällande järnkonzentration. Detta kan indikera att olika mikroorganismer kompletterar varandras funktioner i rhizosfären. Resultaten tyder därmed på att mer komplexa och diversifierade mikrobiella samhällen kan skapa effektivare näringsupptag, högre fyto kemikalieproduktion och mer stabila biologiska processer i marken än enskilda mikroorganismer isolerat. Samtidigt går det inte att dra slutsatsen att större mångfald alltid leder till högre näringsstäthet, eftersom sambanden påverkas av faktorer som jordart, gröda, bearbetningsmetoder och odlingsförhållanden.

Ett växande problem verkar vara markens oförmåga att tillgängliggöra mikronäringsämnen för att kunna täcka grödornas behov, även om markens mikronäringsinnehåll generellt är tillräckligt. Detta problem förvärras av att många moderna sorter är känsliga för låga nivåer av mikronäringsämnen (White & Zasoski 1999), även om olika arter skiljer sig åt. Sortval har ofta lyfts fram som en bidragande faktor till zinkbrist i grödor. Sedan den Gröna Revolutionen har högavkastande sorter prioriterats, vilket i många delar av världen sammanfallit med ökad förekomst av zinkbrist hos befolkningen (ibid.). En möjlig förklaring är att moderna sorter i vissa fall har mindre effektiva rotsystem för upptag av zink, vilket kan göra dem mer beroende av symbios med AMF för att tillgodose sitt behov av mikronäringsämnen (Alloway 2009). Denna förklaring stöds av resultaten från Watts-Williams et al. (2015) som visade att AMF kunde bidra med en betydande andel av tomaters zinkupptag, framför allt vid låg zink tillgång. En annan förklaring skulle kunna vara att moderna sorter i större utsträckning är mer beroende av syntetiska gödselmedel (Alloway 2009; Lehmann et al. 2014), vilket i sin tur leder till en lägre kolonisering av AMF. I sina studier visade Ryan et al. (2008) och Zhang et al. (2012) att fosforgödsling minskade både AMF-kolonisering och zinkkoncentrationen i vetekärnor, trots ökade skördar. Detta visar även på en viktig problematik inom det moderna jordbruket, där hög avkastning inte nödvändigtvis innebär högre näringsstäthet. Resultaten tyder på att odlingsystem som ensidigt fokuserar på maximal biomassa och därför tillför

höga nivåer av mineralgödsel riskerar att försämra de biologiska processer som är viktiga för grödornas upptag av mikronäringsämnen.

Forskning visar att näringen minskat i våra grödor under de senaste decennierna (Davis 2009; Mayer et al. 2022; Bhardwaj et al. 2024) men också att det finns en stor variation i näringstäthet inom samma arter och sorter idag (Bionutrient Institute 2022). Det är alltså inte bara en fråga om var näringen tagit vägen utan framför allt en fråga om hur vi ska odla för att de grödor vi odlar idag ska bli så näringsrika som möjligt.

Enligt Hepperly et al. (2018) tyder mycket lite på att världens jordar förbättras, snarare ökar degraderingen globalt eftersom det moderna jordbruket bygger på intensiva odlingsystem som successivt utarmar, snarare än regenererar, jordarna med erosion, förlust av mullhalt, näringsämnen och biologisk mångfald som följd. Samtidigt är mikronäringsbrist ett omfattande globalt problem. Vi behöver därför ett jordbruk som förser oss med näring, inte enbart kalorier, och som främjar markens biologiska funktioner. Graham et al. (2001) menar att användning av insatsvaror för att behandla symptom på näringsbrist, snarare än att se till de bakomliggande orsakerna, är framgångsrikt men kortsiktigt. Av den anledningen är det viktigt att skilja mellan kortsiktiga och långsiktiga effekter. Bladgödsling kan vara ett effektivt komplement för att förbättra både skörd och näringsinnehåll i grödor, särskilt under förhållande där klimatförändringar och degraderade jordar begränsar växttillgänglighet och i områden där näringsbrist är särskilt omfattande. Samtidigt bör insatser som bladgödsling främst ses som en stödjande åtgärd snarare än en långsiktig lösning. Resultaten från Jin et al. (2010) och Zhang et al. (2012) stödjer detta då de visade att järnupptaget via sideroforer var effektivare än vid bladgödsling och att minskningen av zinkkoncentrationen i kärnan som orsakades av fosfortillförsel kunde återställas nästan helt med bladgödsling. Dock ökade inte bladgödsling kärnans zinkhalt till samma nivå som i behandlingar utan fosfor. För att skapa resilienta och hållbara odlingsystem behövs jordbruk som i mindre utsträckning är beroende av externa insatsvaror som exploaterar och bryter ner jordens resurser och som i stället bygger på att stärka markens naturliga processer.

I flera inokuleringsförsök observerades positiva effekter av specifika mikroorganismer under kontrollerade förhållanden, men det är svårare att avgöra hur stabila dessa effekter är över tid i åkermark. I växthus- och krukförsök används ofta steriliserad jord för att isolera effekten av en specifik mikroorganism. I sådana kontrollerade miljöer är ofta faktorer som temperatur, vatten och näring konstanta vilket gör det lättare att observera tydliga effekter på växttillväxt och näringsupptag. Naturliga jordbrukssystem är betydligt mer komplexa. Där samverkar och konkurrerar en stor mångfald av mikroorganismer

samtidigt och påverkas av miljö-, markanvändnings- och kemiska faktorer. Effekter som är tydliga i växthus- eller laboratorieförsök kan därför bli svagare eller varierande under praktiska odlingsförhållanden. Faktorer som kan bygga ett långsiktigt fungerande ekosystem i marken blir särskilt viktigt eftersom jordbruket behöver fungera långsiktigt under varierande klimat- och miljöförhållanden, snarare än endast ge kortsiktiga effekter under optimala försöksförhållanden.

Markens mikrobiella funktioner utgör endast en del av de faktorer som påverkar grödors näringsstäthet. Näringsinnehållet i växter är komplext och styrs också av faktorer som sortval och klimat- och väderförhållanden under växtens utveckling (Montgomery & Biklé 2021). Jordens egenskaper, som pH, mullhalt, textur och vattenhållande förmåga påverkar produktionen av fytokemikalier och koncentrationen av näringsämnen, precis som temperatur, nederbörd, solljus och torra.

Flera av resultaten visar på att det är samspelet mellan växt, mark och mikroorganismer som är avgörande för markens funktion. Detta samspel bygger inte enbart på biologisk aktivitet utan även på att markens fysikaliska och kemiska egenskaper stödjer detta över tid. Både Rodale Farming System Trial och Bionutrients datainsamling visade på samband mellan markens biologiska funktion och grödors näringskvalitet, trots att de inte fokuserade på enskilda mikroorganismer (Hepperly et al. 2018; Bionutrient Institute 2022). Dessa resultat tyder på att ekosystemets stabilitet kan vara viktigare än förekomsten av specifika arter i sig och att återuppbyggnad av markens organiska material och biologiska aktivitet kan förbättra näringsupptaget.

En viktig aspekt att beakta är dock att högre koncentration av näringsämnen i grödor inte nödvändigtvis innebär högre biotillgänglighet för människor. Resultaten visade att vissa fytokemikalier, såsom  $\beta$ -karoten, kan förbättra järnupptaget, medan polyfenoler i andra fall kan minska järnets biotillgänglighet. Likaså kan biotillgängligheten av zink reduceras av förekomsten av många andra näringsämnen, däribland järn (Martínez-Ballesta et al. 2011). Detta visar att näringsstäthet inte enbart handlar om koncentrationen av ett ämne i växten utan även om hur effektivt människokroppen kan absorbera och använda det. Frågan om näringsstäthet blir därmed mer komplex än att enbart öka halter av mikronäringsämnen i grödor.

Mikronäringsbrist är ett stort globalt problem, men ser olika ut i olika delar av världen. I många utvecklingsländer domineras kosten av basgrödor och spannmål, med brist på energi och mikronäringsämnen som järn och zink som följd, medan västvärlden lider av kostrelaterade sjukdomar trots god tillgång på kalorier. Behovet av forskning kring biotillgänglighet hos människor är därför stort.

Samtidigt kan framtida strategier för att öka denna inte ske på bekostnad av markens biologiska funktioner. Ett alltför stort fokus på tekniska lösningar och externa insatsvaror riskerar att ytterligare öka jordbrukets beroende av syntetiska resurser samtidigt som markens ekologiska processer försämras. Forskningen kring biotillgänglighet måste i stället kopplas till agronomiska metoder som främjar fungerande mikrobiella symbioser, ökad biologisk mångfald, ökad mullhalt och potentiell biotillgänglighet. Hållbara lösningar på undernäring och näringsbrist måste koppla samman jordbruk, näring och hälsa genom hela livsmedelssystemet och utforma jordbruks- och hälsopolitik utifrån detta behov. Det går inte längre att ha ett jordbruk som enbart fokuserar på markens produktionsförmåga, kopplingen till undernäring och biotillgänglighet behöver ställas i fokus. Hepperly et al. (2018) menar att det saknas forskning som belyser jordhälsans betydelse för grödors kvalitet, näringsupptag och anpassningsförmåga och att de ekonomiska intressen som förespråkar syntetiska insatsmedel kan vara en del av denna avsaknad.

Utifrån resultaten framstår behovet av framtida forskning som stort. Framförallt behövs fler långsiktiga fältstudier som undersöker sambandet mellan jordhälsa och näringstäthet under realistiska odlingsförhållande. Det behövs även en mer standardiserad definition och metoder för att mäta jordhälsa, biologisk aktivitet och näringstäthet, för att bättre kunna förstå sambanden. I litteraturen används olika indikationer ofta parallellt, trots att de beskriver olika biologiska funktioner. På samma sätt varierar definitionen av näringstäthet beroende på om man enbart ser till essentiella näringsämnen som är nödvändiga för tillväxt och överlevnad (som zink och järn), eller om man även inkluderar hälsofrämjande ämnen (som fytokemikalier).

## 7. Slutsats

Av resultaten i denna studie framgår att sambandet mellan jordhälsa och näringsstäthet är komplext och att det fortfarande finns kunskapsluckor, särskilt kring hur markens biologiska processer påverkar människors faktiska näringsupptag. Studier visar att markens mikroorganismer kan bidra till ökat upptag av järn och zink samt högre halter av fyto kemikalier i grödor och därmed att markens biologiska funktion sannolikt spelar en viktig roll för grödors näringsupptag. Om denna funktion försämras genom erosion, minskad mullhalt, intensiv jordbearbetning och hög användning av externa insatsvaror riskerar även de ekologiska processer som reglerar näringsmobilisering och växtupptag att påverkas negativt. Resultaten tyder samtidigt på att odlingssystem som främjar biologisk mångfald och fungerande symbioser mellan växter och mikroorganismer kan bidra till mer stabila och funktionella marksystem, även om dessa samband är kontextberoende.

Dock betyder inte högre koncentrationer av näringsämnen i växten automatiskt högre biotillgänglighet för människor. Sammanfattningsvis går det alltså inte att dra slutsatsen om att "levande jord" alltid leder till mer näringsrik mat. Däremot antyder resultaten att framtidens jordbruk inte enbart behöver producera stora mängder mat, utan även skapa förutsättningar för fungerande biologiska processer i marken som kan stödja långsiktigt hållbara och näringsrika livsmedelssystem för att både jorden och människor ska kunna må bra. För att göra detta krävs tvärvetenskaplig forskning som tydligt kopplar samman markens hälsa, växters hälsa och människors hälsa.

# Referenser

- Abdelhalim, T.S., Tia, N.A.J., Sir Elkhatim, K.A., Othman, M.H., Joergensen, R.G., Almainan, S.A. & Hassan, A.B. (2022). Exploring the potential of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) for improving health-promoting phytochemicals in sorghum. *Rhizosphere*, 24, 100596. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2022.100596>
- Ahmad, F., Ahmad, I. & Khan, M.S. (2008). Screening of free-living rhizospheric bacteria for their multiple plant growth promoting activities. *Microbiological Research*, 163 (2), 173–181. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2006.04.001>
- Alloway, B.J. (2009). Soil factors associated with zinc deficiency in crops and humans. *Environmental Geochemistry and Health*, 31 (5), 537–548. <https://doi.org/10.1007/s10653-009-9255-4>
- Amoroso, L. (2016). The Second International Conference on Nutrition: Implications for Hidden Hunger. I: Biesalski, H.K. & Black, R.E. (red.) *World Review of Nutrition and Dietetics*. S. Karger AG. 142–152. <https://doi.org/10.1159/000442100>
- Assunção, A.G.L., Cakmak, I., Clemens, S., González-Guerrero, M., Nawrocki, A. & Thomine, S. (2022). Micronutrient homeostasis in plants for more sustainable agriculture and healthier human nutrition. Verbruggen, N. (red.) (Verbruggen, N., red.) *Journal of Experimental Botany*, 73 (6), 1789–1799. <https://doi.org/10.1093/jxb/erac014>
- Bailey, R.L., West Jr., K.P. & Black, R.E. (2015). The Epidemiology of Global Micronutrient Deficiencies. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 66 (Suppl. 2), 22–33. <https://doi.org/10.1159/000371618>
- Banerjee, S. & Van Der Heijden, M.G.A. (2023). Soil microbiomes and one health. *Nature Reviews Microbiology*, 21 (1), 6–20. <https://doi.org/10.1038/s41579-022-00779-w>
- Baslam, M., Garmendia, I. & Goicoechea, N. (2013). Enhanced Accumulation of Vitamins, Nutraceuticals and Minerals in Lettuces Associated with Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF): A Question of Interest for Both Vegetables and Humans. *Agriculture*, 3 (1), 188–209. <https://doi.org/10.3390/agriculture3010188>
- Berruti, A., Lumini, E., Balestrini, R. & Bianciotto, V. (2016). Arbuscular Mycorrhizal Fungi as Natural Biofertilizers: Let's Benefit from Past Successes. *Frontiers in Microbiology*, 6. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.01559>
- Bhardwaj, R.L., Parashar, A., Parewa, H.P. & Vyas, L. (2024). An Alarming Decline in the Nutritional Quality of Foods: The Biggest Challenge for Future Generations' Health. *Foods*, 13 (6), 877. <https://doi.org/10.3390/foods13060877>
- Bionutrient Institute (2022). 2020 Data Report. *Bionutrient Institute*. <https://our-sci.gitlab.io/bionutrient-institute/bi-docs/2020%20Final%20Report/> [2026-04-23]
- Boincean, B. (2024). *From green revolution to green agriculture: horizons to rethinking and transforming agrifood systems for people and the planet*. <https://www.fao.org/platforms/green-agriculture/news/news-detail/from-green->

- revolution-to-green-agriculture--horizons-to-rethinking-and-transforming-agrifood-systems-for-people-and-the-planet/en?utm\_source=chatgpt.com [2026-05-18]
- Bouis, H.E. & Welch, R.M. (2010). Biofortification—A Sustainable Agricultural Strategy for Reducing Micronutrient Malnutrition in the Global South. *Crop Science*, 50 (S1). <https://doi.org/10.2135/cropsci2009.09.0531>
- Cakmak, I. (2008). Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? *Plant and Soil*, 302 (1–2), 1–17. <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9466-3>
- Campos-Vega, R. & Dave Oomah, B. (2013). Chemistry and Classification of Phytochemicals. *Handbook of Plant Food Phytochemicals*. 2013
- Caspersen, S. & Oskarsson, C. (2024). Mykorrhiza i trädgårdsodling : en handbok. *Department of Biosystems and Technology, Swedish University of Agricultural Sciences*. <https://doi.org/10.54612/a.1ietj3ct15>
- Catlett, K.M., Heil, D.M., Lindsay, W.L. & Ebinger, M.H. (2002). Soil Chemical Properties Controlling Zinc<sup>2+</sup> Activity in 18 Colorado Soils. *Soil Science Society of America Journal*, 66 (4), 1182–1189. <https://doi.org/10.2136/sssaj2002.1182>
- Chandel, N.S., Singh, H.B. & Vaishnav, A. (2025). Disentangling the functioning of native soil microbes in enhancing nutritional value of Aloe vera and soil health parameters. *Frontiers in Soil Science*, 5, 1576176. <https://doi.org/10.3389/fsoil.2025.1576176>
- Colombo, C., Palumbo, G., He, J.-Z., Pinton, R. & Cesco, S. (2014). Review on iron availability in soil: interaction of Fe minerals, plants, and microbes. *Journal of Soils and Sediments*, 14 (3), 538–548. <https://doi.org/10.1007/s11368-013-0814-z>
- Davis, D.R. (2009). Declining Fruit and Vegetable Nutrient Composition: What Is the Evidence? *HortScience*, 44 (1), 15–19. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.44.1.15>
- Doran, J.W. & Zeiss, M.R. (2000). Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology*, 15 (1), 3–11. [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(00\)00067-6](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(00)00067-6)
- Fageria, N.K., Baligar, V.C. & Clark, R.B. (2002). Micronutrients in Crop Production. I: Advances in Agronomy. *Elsevier*. 185–268. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(02\)77015-6](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(02)77015-6)
- Fageria, N.K., Filho, M.P.B., Moreira, A. & Guimarães, C.M. (2009). Foliar Fertilization of Crop Plants. *Journal of Plant Nutrition*, 32 (6), 1044–1064. <https://doi.org/10.1080/01904160902872826>
- FAO (2008). The case for improving soil health. Proceedings of An International Technical Workshop Investing in Sustainable Crop Intensification., Rom, juli 24 2008. *FAO*. <https://www.fao.org/4/i0951e/i0951e.pdf> [2026-04-23]
- FAO (2025). Agricultural production statistics. *FAO*. <https://doi.org/10.4060/cd8035en>
- Friedrich, T., Kassam, A., & 1 FAO representative in Cuba, Cuba (2016). Food security as a function of Sustainable Intensification of Crop Production. *AIMS Agriculture and Food*, 1 (2), 227–238. <https://doi.org/10.3934/agrfood.2016.2.227>

- Fu, W., Li, P., Sun, C., Sun, B., Kong, Z., Zhu, Y., Tian, H., Guo, Q. & Lai, H. (2025). Lysobacter Orchestrates Plant–Microbiome Crosstalk to Enhance Tomato Fruit Quality. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 73 (50), 32348–32362. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5c09587>
- Gao, X., Kuyper, T.W., Zou, C., Zhang, F. & Hoffland, E. (2007). Mycorrhizal responsiveness of aerobic rice genotypes is negatively correlated with their zinc uptake when nonmycorrhizal. *Plant and Soil*, 290 (1–2), 283–291. <https://doi.org/10.1007/s11104-006-9160-x>
- Giovannetti, M., Avio, L., Barale, R., Ceccarelli, N., Cristofani, R., Iezzi, A., Mignolli, F., Picciarelli, P., Pinto, B., Reali, D., Sbrana, C. & Scarpato, R. (2012). Nutraceutical value and safety of tomato fruits produced by mycorrhizal plants. *British Journal of Nutrition*, 107 (2), 242–251. <https://doi.org/10.1017/S000711451100290X>
- Graham, R.D., Welch, R.M. & Bouis, H.E. (2001). Addressing micronutrient malnutrition through enhancing the nutritional quality of staple foods: Principles, perspectives and knowledge gaps. I: Advances in Agronomy. *Elsevier*. 77–142. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(01\)70004-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(01)70004-1)
- Hepperly, P.R., Omondi, E. & Seidel, R. (2018). Soil regeneration increases crop nutrients, antioxidants and adaptive responses. *MOJ Food Processing & Technology*, 6 (2). <https://doi.org/10.15406/mojfpt.2018.06.00165>
- Huang, Y., Xiao, D., Burton-Freeman, B.M. & Edirisinghe, I. (2016). Chemical Changes of Bioactive Phytochemicals during Thermal Processing. I: Reference Module in Food Science. *Elsevier*. B9780081005965030559. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.03055-9>
- Ishfaq, M., Kiran, A., Ur Rehman, H., Farooq, M., Ijaz, N.H., Nadeem, F., Azeem, I., Li, X. & Wakeel, A. (2022). Foliar nutrition: Potential and challenges under multifaceted agriculture. *Environmental and Experimental Botany*, 200, 104909. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2022.104909>
- Jacoby, R., Peukert, M., Succurro, A., Koprivova, A. & Kopriva, S. (2017). The Role of Soil Microorganisms in Plant Mineral Nutrition—Current Knowledge and Future Directions. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1617. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01617>
- Jin, C.W., Li, G.X., Yu, X.H. & Zheng, S.J. (2010). Plant Fe status affects the composition of siderophore-secreting microbes in the rhizosphere. *Annals of Botany*, 105 (5), 835–841. <https://doi.org/10.1093/aob/mcq071>
- Jin, C.W., Ye, Y.Q. & Zheng, S.J. (2014). An underground tale: contribution of microbial activity to plant iron acquisition via ecological processes. *Annals of Botany*, 113 (1), 7–18. <https://doi.org/10.1093/aob/mct249>
- Khalid, M., Hassani, D., Bilal, M., Asad, F. & Huang, D. (2017). Influence of bio-fertilizer containing beneficial fungi and rhizospheric bacteria on health promoting compounds and antioxidant activity of *Spinacia oleracea* L. *Botanical Studies*, 58 (1), 35. <https://doi.org/10.1186/s40529-017-0189-3>

- Krzyzanowska, J., Czubacka, A. & Oleszek, W. (2010). Dietary Phytochemicals and Human Health. I: Giardi, M.T., Rea, G., & Berra, B. (red.) Bio-Farms for Nutraceuticals. *Springer US*. 74–98. [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7347-4\\_7](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7347-4_7)
- La Frano, M.R., De Moura, F.F., Boy, E., Lönnnerdal, B. & Burri, B.J. (2014). Bioavailability of iron, zinc, and provitamin A carotenoids in biofortified staple crops. *Nutrition Reviews*, 72 (5), 289–307. <https://doi.org/10.1111/nure.12108>
- Lehmann, A., Veresoglou, S.D., Leifheit, E.F. & Rillig, M.C. (2014). Arbuscular mycorrhizal influence on zinc nutrition in crop plants – A meta-analysis. *Soil Biology and Biochemistry*, 69, 123–131. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.11.001>
- Liu, R.H. (2013). Health-Promoting Components of Fruits and Vegetables in the Diet. *Advances in Nutrition*, 4 (3), 384S–392S. <https://doi.org/10.3945/an.112.003517>
- Livsmedelsverket (2026). *Salt och mineraler*. Livsmedelsverket.se. <https://www.livsmedelsverket.se/livsmedel-och-innehall/naringsamne/salt-och-mineraler1/> [2026-04-29]
- Lucarini, M., Di Lullo, G., Cappelloni, M. & Lombardi-Boccia, G. (2000). In vitro estimation of iron and zinc dialysability from vegetables and composite dishes commonly consumed in Italy: effect of red wine. *Food Chemistry*, 70 (1), 39–44. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00061-3](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00061-3)
- Marschner, P., Crowley, D. & Rengel, Z. (2011). Rhizosphere interactions between microorganisms and plants govern iron and phosphorus acquisition along the root axis – model and research methods. *Soil Biology and Biochemistry*, 43 (5), 883–894. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.01.005>
- Martínez-Ballesta, M.C., Dominguez-Perles, R., Moreno, D.A., Muries, B., Alcaraz-López, C., Bastías, E., García-Viguera, C. & Carvajal, M. (2011). Minerals in Plant Food: Effect of Agricultural Practices and Role in Human Health. I: Lichtfouse, E., Hamelin, M., Navarrete, M., & Debaeke, P. (red.) *Sustainable Agriculture Volume 2*. Springer Netherlands. 111–128. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-0394-0\\_8](https://doi.org/10.1007/978-94-007-0394-0_8)
- Mayer, A.-M.B., Trenchard, L. & Rayns, F. (2022). Historical changes in the mineral content of fruit and vegetables in the UK from 1940 to 2019: a concern for human nutrition and agriculture. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 73 (3), 315–326. <https://doi.org/10.1080/09637486.2021.1981831>
- Meltzer, H.M. & Malterud, K.E. (1997). Can dietary flavonoids influence the development of coronary heart disease? *Näringsforskning*, 41 (1), 50–57. <https://doi.org/10.3402/fnr.v41i0.1753>
- Mendes, R., Garbeva, P. & Raaijmakers, J.M. (2013). The rhizosphere microbiome: significance of plant beneficial, plant pathogenic, and human pathogenic microorganisms. *FEMS Microbiology Reviews*, 37 (5), 634–663. <https://doi.org/10.1111/1574-6976.12028>
- Moebius-Clune, B.N., Moebius-Clune, D.J., Gugino, B.K., Idowu, O.J., Schindelbeck, R.R., Ristow, A.J., van Es, H.M., Thies, J.E. & Shayler, H.A. (2016). *Comprehensive Assessment of Soil Health - The Cornell Framework*. <https://cornell.app.box.com/s/ryy6xgtwok5l85zzy9fgms1276drud0y> [2026-04-23]

- Mogren, L.M., Olsson, M.E. & Gertsson, U.E. (2007). Effects of cultivar, lifting time and nitrogen fertiliser level on quercetin content in onion (*Allium cepa* L.) at lifting. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87 (3), 470–476. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2735>
- Montgomery, D.R. & Biklé, A. (2021). Soil Health and Nutrient Density: Beyond Organic vs. Conventional Farming. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 699147. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.699147>
- Norris, C.E., Swallow, M.J.B., Liptzin, D., Cope, M., Bean, G.M., Cappellazzi, S.B., Greub, K.L.H., Rieke, E.L., Tracy, P.W., Morgan, C.L.S. & Honeycutt, C.W. (2023). Use of phospholipid fatty acid analysis as phenotypic biomarkers for soil health and the influence of management practices. *Applied Soil Ecology*, 185, 104793. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104793>
- Ordookhani, K., Khavazi, K., Moezzi, A. & Rejali, F. (2010). Influence of PGPR and AMF on antioxidant activity, lycopene and potassium contents in tomato. *African Journal of Agricultural Research*. [https://academicjournals.org/article/article1380803473\\_Ordookhani%20et%20al.pdf](https://academicjournals.org/article/article1380803473_Ordookhani%20et%20al.pdf) [2026-05-08]
- Pankhurst, C.E. (red.) (1998). Biological indicators of soil health. repr. *CAB Internat.*
- Porkodi, G., Ramamoorthi, P. & David Israel Mansingh, M. (2023). Effects of Iron on Crops and Availability of Iron in Soil: A Review. *Biological Forum - An International Journal*. [https://www.researchtrend.net/bfij/pdf/Effects-of-Iron-on-Crops-and-Availability-of-Iron-in-Soil-A-Review-G-Porkodi-10.pdf?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.researchtrend.net/bfij/pdf/Effects-of-Iron-on-Crops-and-Availability-of-Iron-in-Soil-A-Review-G-Porkodi-10.pdf?utm_source=chatgpt.com) [2026-05-07]
- Rana, A., Joshi, M., Prasanna, R., Shivay, Y.S. & Nain, L. (2012). Biofortification of wheat through inoculation of plant growth promoting rhizobacteria and cyanobacteria. *European Journal of Soil Biology*, 50, 118–126. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2012.01.005>
- Rao, A. & Rao, L. (2007). Carotenoids and human health. *Pharmacological Research*, 55 (3), 207–216. <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2007.01.012>
- Rockström, J., Kassam, A., Friedrich, T., Reicosky, D., Dumanski, J., Goddard, T. & Peiretti, R.A. (2026). Conservation agriculture: helping to return to within planetary boundaries. *Global Sustainability*, 9, e11. <https://doi.org/10.1017/sus.2025.10045>
- Rroço, E., Kosegarten, H., Harizaj, F., Imani, J. & Mengel, K. (2003). The importance of soil microbial activity for the supply of iron to sorghum and rape. *European Journal of Agronomy*, 19 (4), 487–493. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(02\)00185-5](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(02)00185-5)
- Ryan, M.H., McInerney, J.K., Record, I.R. & Angus, J.F. (2008). Zinc bioavailability in wheat grain in relation to phosphorus fertiliser, crop sequence and mycorrhizal fungi. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88 (7), 1208–1216. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3200>

- Subramanian, K.S., Tenshia, V., Jayalakshmi, K. & Ramachandran, V. (2009). Role of arbuscular mycorrhizal fungus (*Glomus intraradices*) – (fungus aided) in zinc nutrition of maize. *Journal of Agricultural Biotechnology and Sustainable Development*, 2009.  
[https://academicjournals.org/article/article1381157030\\_Subramanian%20et%20al.pdf](https://academicjournals.org/article/article1381157030_Subramanian%20et%20al.pdf) [2026-05-07]
- Thomas, D. (2003). A Study on the Mineral Depletion of the Foods Available to us as a Nation over the Period 1940 to 1991. *Nutrition and Health*, 17 (2), 85–115.  
<https://doi.org/10.1177/026010600301700201>
- Tiwari, U. & Cummins, E. (2013). Factors influencing levels of phytochemicals in selected fruit and vegetables during pre- and post-harvest food processing operations. *Food Research International*, 50 (2), 497–506.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.09.007>
- Vejan, P., Abdullah, R., Khadiran, T., Ismail, S. & Nasrulloha Boyce, A. (2016). Role of Plant Growth Promoting Rhizobacteria in Agricultural Sustainability—A Review. *Molecules*, 21 (5), 573. <https://doi.org/10.3390/molecules21050573>
- Waters, B.M. & Sankaran, R.P. (2011). Moving micronutrients from the soil to the seeds: Genes and physiological processes from a biofortification perspective. *Plant Science*, 180 (4), 562–574. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.12.003>
- Watts-Williams, S.J., Smith, F.A., McLaughlin, M.J., Patti, A.F. & Cavagnaro, T.R. (2015). How important is the mycorrhizal pathway for plant Zn uptake? *Plant and Soil*, 390 (1–2), 157–166. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2374-4>
- White, J.G. & Zasoski, R.J. (1999). Mapping soil micronutrients. *Field Crops Research*, 60 (1–2), 11–26. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(98\)00130-0](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(98)00130-0)
- Wuehler, S.E., Peerson, J.M. & Brown, K.H. (2005). Use of national food balance data to estimate the adequacy of zinc in national food supplies: methodology and regional estimates. *Public Health Nutrition*, 8 (7), 812–819.  
<https://doi.org/10.1079/PHN2005724>
- Zhang, F., Shen, J., Zhang, J., Zuo, Y., Li, L. & Chen, X. (2010). Rhizosphere Processes and Management for Improving Nutrient Use Efficiency and Crop Productivity. I: *Advances in Agronomy*. Elsevier. 1–32. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(10\)07001-X](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(10)07001-X)
- Zhang, Y.-Q., Deng, Y., Chen, R.-Y., Cui, Z.-L., Chen, X.-P., Yost, R., Zhang, F.-S. & Zou, C.-Q. (2012). The reduction in zinc concentration of wheat grain upon increased phosphorus-fertilization and its mitigation by foliar zinc application. *Plant and Soil*, 361 (1–2), 143–152. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1238-z>
- Zinati, G., Carrara, J.E., Das, S., Caetani, R., Kalra, A., Carr, E.A. & Heller, W.P. (2025). Impact of tillage practices and arbuscular mycorrhizal fungi inoculation on organic sweet corn yield and nutritional quality. *Soil and Tillage Research*, 251, 106545.  
<https://doi.org/10.1016/j.still.2025.106545>

## Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU kan publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver i sådana fall godkänna publiceringen. I samband med att du godkänner publicering kommer SLU även att behandla dina personuppgifter (namn) för att göra arbetet sökbart på internet. Du kan närsomhelst återkalla ditt godkännande genom att kontakta biblioteket.

Även om du väljer att inte publicera arbetet eller återkallar ditt godkännande så kommer det arkiveras digitalt enligt arkivlagstiftningen.

Du hittar länkar till SLU:s publiceringsavtal och SLU:s behandling av personuppgifter och dina rättigheter på den här sidan:

- <https://libanswers.slu.se/sv/faq/228316>

JA, jag, Frida Fredh har läst och godkänner avtalet för publicering samt den personuppgiftsbehandling som sker i samband med detta

NEJ, jag/vi ger inte min/vår tillåtelse till att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.