



Sveriges lantbruksuniversitet  
Swedish University of Agricultural Sciences

Institutionen för biosystem och teknologi

# Humussyrornas roll i odlingssystemet – Påverkan på växtproduktivitet vid applicering av humussyror

*The role of humic acids in cropping systems – effect on plant  
productivity by application of humic acids*

Philip Juhlin

**Självständigt arbete • 15 hp**

Trädgårdsingenjör: odling - kandidatprogram

Alnarp 2019

# Humussyrornas roll i odlingsystemet – Påverkan på växtproduktivitet vid applicering av humussyror

*The role of humic acids in cropping systems – effect on plant productivity by application of humic acids*

Philip Juhlin

**Handledare:** Helena Karlén, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för biosystem och teknologi  
**Examinator:** Håkan Asp, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för biosystem och teknologi

**Omfattning:** 15 hp  
**Nivå och fördjupning:** Grundnivå, G2E  
**Kurstitel:** Kandidatarbete i trädgårdsvetenskap  
**Kursansvarig inst.:** Institutionen för biosystem och teknologi  
**Kurskod:** EX0844  
**Program/utbildning:** Trädgårdsingenjör: odling - kandidatprogram

**Utgivningsort:** Alnarp  
**Utgivningsår:** 2019  
**Elektronisk publicering:** <https://stud.epsilon.slu.se>

**Nyckelord:** Tillväxtfrämjande bakterier, fulvosyror, organiskt material, rottillväxt, stresstolerans, näringsupptag

## **Sveriges lantbruksuniversitet**

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap  
Institutionen för biosystem och teknologi

## Sammanfattning

Förstöringen av odlingsbar mark orsakas till stor del av jordbruket och är ett hot mot matproduktionen och matsäkerheten. Odlingsbara arealen minskar samtidigt som efterfrågan på mat ökar. För att möta detta behöver odlingssystemens produktivitet öka utan fortsatt markförstörelse. Målet med denna litteraturstudie är att undersöka hur humussyror som är en del av organiskt material kan appliceras för att öka odlingssystemets produktivitet på ett ekologiskt hållbart sätt. Litteraturstudien fann att humussyrorna ökar växtens upptag av makro och mikronäringsämnen genom att öka den aktiva transporten genom plasma membranet, detta leder till att en mindre mängd gödsel kan användas till samma avkastning. Humussyrorna visade även en ökad tillväxt av sidorötter. Den ökade rottillväxten har betydelse för växtens vatten och näringsupptag men bidrar även till en större area för fördelaktiga mikroorganismer att leva på. Dessa bidrar till en assimilering av näring och en ökad produktion av organiska syror och växthormoner som främjar växtens tillväxt och tolerans till biotisk och abiotisk stress. Humussyror kan öka odlingssystemens produktivitet genom att effektivisera växten och minska behovet av gödsel, vatten och växtskyddsmedel.

*Nyckelord:* Tillväxtfrämjande bakterier, fulvosyror, organiskt material, rottillväxt, stresstolerans, näringsupptag

## Abstract

The destruction of arable land is to a large degree caused by agriculture and is a threat to food production and food security. Arable land is decreasing but at the same time the human population and the demand for food increasing. To meet this demand the productivity of cropping systems need to increase without continuing to cause land degradation. The goal of this study was to investigate how humic acids which is a large part of organic matter can be applied to increase the productivity of cropping systems in an ecologically sustainable way. The study found that humic acids extracted from different organic sources could increase the plants uptake of nutrients by increasing the active transport through the plasma membrane, leading to a decrease in the amount of fertilizer needed. Humic acids also showed an increase in the growth of lateral roots. The increase in root growth and thereby root area has influence on the plants water and nutrient uptake. The root area also provides bigger surface for microorganisms to inhabit. These microorganisms can promote the growth of plants by assimilating nutrients and producing organic acids and hormones, which enhances the plants tolerance to biotic and abiotic stress. Humic acids can increase the productivity of cropping systems by optimizing the plants and decrease the need for fertilizer, water and pesticides.

*Keywords:* growth promoting bacteria, fulvic acids, organic matter, rootgrowth, stress tolerance, nutrient uptake

# Innehållsförteckning

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Figurförteckning</b>  | <b>5</b>  |
| <b>1 Inledning</b>   | <b>6</b>  |
| 1.1 Syfte och frågeställning   | 8         |
| <b>2 Litteraturundersökning</b>  | <b>9</b>  |
| <b>3 Resultat</b>  | <b>10</b> |
| 3.1 Organiskt material eller humus                                     | 10        |
| 3.2 Nedbrytningsprocesser  | 13        |
| 3.3 Humussubstanser  | 14        |
| 3.3.1 Humussyror   | 15        |
| 3.3.2 Fulvosyror   | 16        |
| 3.4 Extrahering av humussyror  | 17        |
| 3.4.1 Källmaterial   | 18        |
| 3.5 Biostimulering   | 19        |
| 3.5.1 Tillväxtfrämjande effekt   | 19        |
| 3.5.2 Hormonlika effekter och auxiner                                  | 20        |
| 3.5.3 Reaktiva syreföreningar  | 20        |
| 3.5.4 Främjar fördelaktiga mikroorganismer                             | 21        |
| 3.6 Näringsupptag och tillgänglighet                                   | 22        |
| 3.6.1 Näringsupptag  | 22        |
| 3.6.2 Kelatkomplex   | 22        |
| 3.7 Stresstolerans   | 23        |
| 3.7.1 Salinitet  | 23        |
| 3.7.2 Vattenstress   | 23        |
| <b>4 Diskussion</b>  | <b>24</b> |
| 4.1 Odlingsystem globalt och problematiken med humus från brunkol      | 24        |
| 4.2 Optimerad resursanvändning och förbättrad vinst                    | 26        |
| 4.3 Förbättrar odlingsäsong  | 26        |
| 4.4 Svensk odling  | 27        |
| 4.5 Skillnaden på biostimulanter och andra tillväxtfrämjande produkter | 28        |
| 4.6 Andra biostimulanter att nämna                                     | 29        |
| <b>5 Slutsats</b>  | <b>30</b> |

|          |                              |           |
|----------|------------------------------|-----------|
| <b>6</b> | <b>Referenslista</b>         | <b>31</b> |
|          | <b>Tack/Acknowledgements</b> | <b>34</b> |

## Figurförteckning

- Figur 1.* Beskriver molekylvikt, innehåll (Ökar i pilarnas riktning) och färguppdelningen av humussubstanser. Från ljusgult och gult (fulvosyror) till brunt och gråbrunt (humussyror) och svart (humin). Adapterad från Stevenson & Cole (1999.) Cycles of soil. 2. Uppl. 12
- Figur 2.* Fördelningen av humus och komponenterna av humussubstanser baserat på löslighet i olika pH. Adapterad från Stevenson & Cole (1999.) Cycles of soil. 2. Uppl.) 12
- Figur 3.* Illustrerar omvandlingen av växtmaterial till humussubstanser via olika vägar men där lignin och aminosyror har en betydande roll. Adapterad från Stevenson & Cole (1999.) Cycles of soil. 2. Uppl. 14
- Figur 4.* Illustrerar hur humussyror beter sig i olika pH. I högt pH (A) repellerar humussyrorna varandra och dessa är sprida, när pH sjunker (B och C) börjar humussyrorna bilda intermolekylära aggregat där det hydrofoba ändarna vänds inåt i strukturen och de hydrofila riktas utåt mot lösningen. I lågt pH (D) fälls humussyrorna ut. Figur från (Gomes de Melo 2015.) 15
- Figur 5.* Kemisk struktur av humussyror från Malan (2015). Review: humic and fulvic acids, A practical approach. Notera mängden (COOH) 16
- Figur 6.* Kemisk struktur av fulvosyror från Malan (2015). Review: humic and fulvic acids, A practical approach 17
- Figur 7.* Visar effekten av kvoten mellan Kol och Syre på humussubstansens reaktivitet vid reduktion (Malan 2015). 19
- Figur 8.* Mätning av gasutbytet hos en squash plant, ett värde på 24ppm i upptag av CO<sub>2</sub> är optimum för C3 växter. Är värdet lägre kommer växten inte ge optimal skörd. (Foto: Philip Juhlin) 28

# 1 Inledning

Markförstöring är det största hotet mot matproduktion, matsäkerhet och bevarandet av naturliga resurser. Markförstöring definieras som en minskning av markens bördighet, biodiversitet och naturliga resurser. Förstöringen orsakas främst av betning (49%), vattenerosion (46%), vinderosion (36%) och jordbruk (24%) (Bado & Bationo 2018). Samtidigt som det sker en global förlust av odlingsbar mark så ökar efterfrågan på mat, en efterfrågan som förväntas öka 2-5 gånger till år 2030. För att möta efterfrågan beräknas produktionen av mat behöva öka med 60 procent under det kommande årtiondet. Att Odlas på förstörda jordar är möjligt men kräver stora investeringar av kapital och ingenjörsinsatser (Reeves 1997).

För att höja skördarna, har det sedan 1940-talet varit standardförfarande av odlare att tillsätta konstgödsel vid produktionen av grödor. Konstgödsel eller mineralgödsel framställs industriellt och består av salter av till exempel ammonium, nitrat, fosfor och kalium. Användningen av konstgödsel kan leda till salinisering (försaltning) av jordarna, något som orsakat 3% av jordförstöringen (Bado & Bationo 2018). Mineralgödselmedel innehåller inga ämnen av organiskt ursprung från växter eller djur (Jordbruksverket 2018). Dessa utvinns från bergarter som består av ett eller flera mineraler och anses därför inte vara förnybara.

Intensiv odling av grödor som gödglas med enbart oorganiska gödselmedel leder till en kontinuerlig minskning av det organiska materialet i jorden. Förlusten av organiskt material minskar tillgängligheten på näring och vatten samt ger en försämrad markstruktur (Johnston, Poulton & Coleman 2009). Kol fungerar som energikälla för mikrobiella processer som respiration och assimilering (Reeves 1997). Den låga eller obefintliga tillsatsen av organiskt material (kolföreningar) påverkar därför populationen av mikroorganismer negativt. Mikroorganismer stimulerar växter genom att producera organiska syror, hormoner och enzymer. Mikroorganismer kan förbättra växters upptag av vatten och näring samt kan fixera atmosfäriskt kväve (Oliveira de Melo et al. 2018). Förlusten av mikroorganismer har därför en stor påverkan på markens bördighet. Framtidens efterfrågan på mat kräver odlingssystem



som bygger på alternativa intensifieringsmetoder där vi kan möta framtidens förväntade produktionskrav med en minskad användning av oorganiska gödselmedel och andra metoder som försämrar markens produktivitet i förhållande till bördighet, biodiversitet och förlusten av naturliga resurser.

Alternativ intensifiering av odlingsystem, benämns ekologisk intensifiering eller hållbar intensifiering (Canellas et al. 2015) och har ingenting med den ekologiska produktionen av grödor att göra. Termen ekologisk intensifiering syftar istället på strategier som innefattar att effektivisera näringsanvändningen, minska behovet av växtskyddsåtgärder, effektivisera användningen av vatten samt åtgärder för att återställa och bevara odlingsmarkernas bördighet. Ekologisk intensifiering har som mål att minska jordbrukets beroende av extern inmatning av resurser och energi samtidigt som en hög produktion av mat bibehålls. Ekologisk intensifiering bygger mycket på att bevara markens produktivitet och det är därför viktigt med bevarandet och främjandet av jordens innehåll av organiskt material.

Organiskt material i jorden kan delas in i olika kategorier. Humus är den aktiva delen av organiskt material i jorden och bildas genom kemisk och biologisk nedbrytning av rester från växter och djur (Stevenson & Cole 1999). Humus upprätthåller landbaserat liv och reglerar både kol- och kvävecykeln i jorden samt tillväxten av växter och mikroorganismer. Utöver det är humus även viktig för stabiliseringen av markstrukturen samt för att transportera och binda antropogena ämnen (pesticider och andra växtskyddsmedel) och tungmetaller (Canellas et al. 2015). Humus kan delas in i två undergrupper där icke-humussubstanser är organiska molekyler med igenkännbara strukturer som agerar som byggstenar, energikälla eller ingår i markkemiska reaktioner. Icke-humussubstanser är till exempel aminosyror, lipider och organiska syror.

Den andra undergruppen kallas för humussubstanser och utgör 80 % av humusmaterialet i marken (Stevenson & Cole 1999). Humussubstanser består av organiska ämnen som inte har någon igenkännbar struktur och är mycket stabila då de har hög resistens mot mikrobiell nedbrytning. Till humussubstanser hör två intressanta grupper av organiska molekyler som kallas för humussyror och fulvosyror. Humussyror och fulvosyror är de mest bioaktiva fraktionerna av humus och räknas därför som biostimulanter (Jardin 2015). Humussyror anses vara en av de viktigaste komponenterna i en bördig jord eftersom dessa påverkar jordens kemiska, fysiska och biologiska egenskaper (Calvo, Nelson & Kloepper 2014). Humussyror kan extraheras från organiskt material och kommersiella humussyror har ökat i popularitet som biostimulerande produkter.

Biostimulanter är ett samlingsnamn för ämnen av biologiskt ursprung som kan förbättra växtproduktiviteten, d.v.s. avkastningen, genom att stimulera ett ökat upptag av näring, främja tillväxten av rötter och skott eller ge en högre fruktsättning och kvalitet utan tillförsel av extra näringsämnen, växtskyddsmedel eller hormoner.

Idag finns biostimulanter tillgängliga och år 2012 rapporterades att 6.2 miljoner hektar odling har tillfört biostimulanter i Europa (Calvoa, Nelson & Kloepper 2014). Dessa produkter påstås bland annat effektivisera växters metabolism med en bättre avkastning och kvalitet på grödan som följd, öka växters tolerans mot abiotisk stress, främja tillgänglighet, transport och upptag av näring, förbättra vattenanvändningen och öka markens bördighet framförallt genom att främja uppförökningen av mikroorganismer.

Den växande mängden biostimulanter på marknaden innebär att kunskapen om dessa blir allt viktigare och att det går att definiera vad som är och inte är en biostimulant. Det behövs vetenskapligt grundad information om verknings sätt, appliceringsmetoder och vilka doser som är effektiva.

## 1.1 Syfte och frågeställning

Syftet med litteraturstudien är att sammanställa den information som finns om den effekt humussyror kan ha. Det finns en lång lista av effekter som dessa marknadsförs med som att: påverka uppbyggnaden av rotsystemet, förbättra upptaget och tillgängligheten av näring, buffra mot pH- och saltförändringar, förbättra tillväxtförhållandena för önskvärda mikroorganismer, ändra de fysikaliska och biologiska egenskaperna hos jorden, öka genomsläppligheten av näringsämnen genom växtens membran och öka grobarheten hos frön.

Litteraturstudien syftar till att besvara frågorna:

Hur sker uppbyggnaden av humus i jorden och vad skiljer humussubstanser från andra organiska strukturer i marken?

Vad har materialet som humussyror utvinns ifrån för påverkan på egenskaperna?

Vilka egenskaper har humussyror bevisats ha, och hur kan kommersiella humussyror utnyttjas för att öka produktionen i odlingssystemet?

Vad kan humussyror ha för betydelse globalt och i den Svenska odlingen?

Arbetet avgränsas till hur växter påverkas vid applicering av humussyror och går inte in närmare på effekten dessa har på substrat och markstrukturer.

## 2 Litteraturundersökning

För att läsaren ska förstå sambanden, kommer processen beskrivas från organiskt material till humus och humussubstanser. I litteraturstudien sammanställs fakta om humussubstanser och hur dessa vetenskapligt har bevisats påverka växter både direkt och indirekt. Grunderna i nedbrytning av organiskt material och humussyntes har hämtats från F. J Stevensons bok *Cycles of Soil*. Boken ger en bakgrund till humus och humussubstanser. Specifik fakta om humussyror är föråldrad till följd av utvecklingen av nya analysmetoder som gjorts under de senaste årtiondena. Dessa genombrott har utmanat den tidigare bilden av humussubstansernas kemiska struktur.

Trots detta ger boken den grundläggande översikt som krävs för vidare förståelse inom ämnet. Nyare artiklar har använts för att fylla kunskapsluckor i den tidigare förklaringen av humussubstanser. I en artikel i *Plant Soil* har Pamela Calvo, Louise Nelson och Joseph W. Kloepper (2014) gjort en sammanställning över hortikulturell användning av biostimulanter. Förklaringar till effekten av humussyror och fulvosyror har hämtats från artiklar av Luciano P Canellas. Specifika effekter av humussyror har sammanställts från olika källor utgivna genom ELSEVIER som *Journal of Geochemical Exploration* eller *Scientia Horticulturae*.

## 3 Resultat

### 3.1 Organiskt material eller humus

Nedbrytningen av döda växter och djur i marken är en fundamental biologisk process. Kol återgår till atmosfären som koldioxid och kväve blir växttillgängligt som ammonium och nitrat. Övriga essentiella näringsämnen som fosfor, svavel och mikronäringsämnen, förekommer i oorganisk form. Vid nedbrytning assimileras en del näringsämnen av mikroorganismer och ingår därför i den mikrobiella biomasen. Konvertering av organiskt bundet kol, kväve, fosfor och svavel till oorganisk form kallas för mineralisering. Assimileringen av näringsämnen vid bildandet av nya mikrobiella celler kallas för fastläggning (Stevenson & Cole 1999). Vid fotosyntesen omvandlas solenergi till kemisk energi och tillsammans med näringsämnen från jorden producerar växter lignin, cellulosa, protein och andra organiska föreningar som de är uppbyggda av. Mikrobiell nedbrytning av växter frigör mycket av kolet som bundits till organiska föreningar tillbaka till atmosfären som koldioxid. Men en signifikant del blir kvar i jorden som nedbrutet organiskt material (humus) eller som mikrobiella komponenter. Humus utgörs av ämnen som inte längre går att åtskilja med ögat som proteiner, socker, fetter, organiska syror och till stor del av humussubstanser. Humussubstanser är en mikrobiell produkt och dess struktur är därför kopplat till materialet som mikroorganismerna brutit ned. Fördelningen av humussubstanser tenderar därför att variera mellan jordar. Skogsmarker tenderar att ha en hög mängd fulvosyror (Som är av lägre molekylvikt än humussyror och anses mer bioaktiv) medan torv och gräsmarker har en hög mängd humussyror (Stevenson & Cole 1999).

Mängden kol bundet i humus är tre till fyra gånger mer än kolet i atmosfären (Stevenson & Cole 1999). Humussubstanser är den mer aktiva fraktionen av humus och består av sura polyelektrolyter (föreningar som innehåller flera joner) av en till synes högre molekylvikt än icke-humussubstanser, och är pigmenterade med

färger varierande från gult – svart (Figur 1). Det är viktigt att känna till att *humussubstanser* ibland kan vara svåra att skilja på från *icke-humussubstanser* till följd av att några av de ämnena i *icke-humussubstanser* kan vara kovalent bundna till *humussubstanser* (Stevenson & Cole 1999).

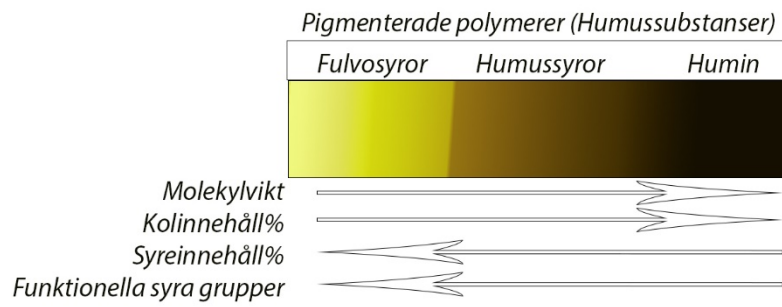
Fördelningen av humus (organiskt material i jorden) i andra utgåvan av Cycles of Soil:

#### Icke- Humussubstanser

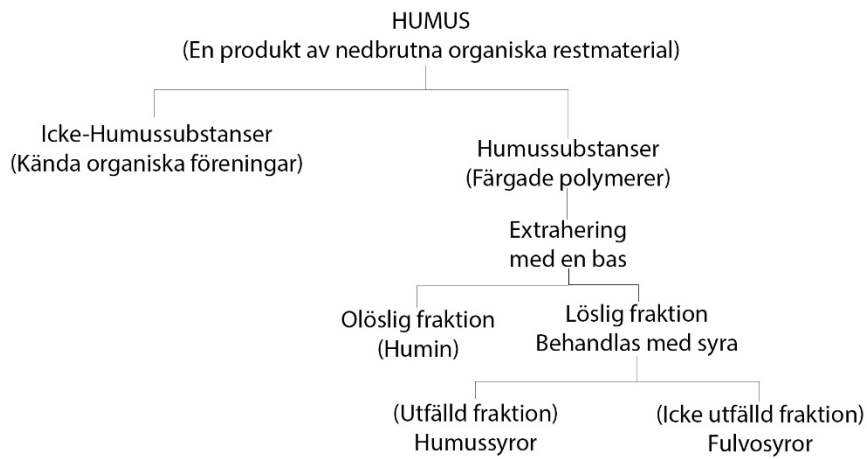
|                               |       |
|-------------------------------|-------|
| Lipider                       | 1-6%  |
| Kolhydrater                   | 5-25% |
| Proteiner/peptider/aminosyror | 9-16% |
| Humussubstanser               | 80%   |

Humussubstanser delas in i tre grupper humin, humussyror och fulvosyror. Humussubstansernas indelning sker genom extrahering från humus med hjälp av en bas (Figur 2). Den olösliga fraktionen klassas som humin och den lösliga som fulvosyror och humussyror. Huvudsakligen talas det om humussyror och fulvosyror medan fraktionen av humin inte representeras. Fraktionen av humin existerar som en eller flera av följande: humussyror som är så hårt bundet till mineralt material att de inte kan separeras, högt kondenserat humusmaterial med över 60% kolinnehåll eller som svampmelanin vilket har karaktärer som liknar humussyror men som är delvis olösliga i bas (Stevenson & Cole 1999).

Numera anses det bättre att se humin som ett aggregat av humussubstanser och icke-humussubstanser och inte som en enskild grupp av humussubstanser (Calvo, Nelson & Kloepper 2014). Fraktionen av humussyror och fulvosyror fördelas sedan genom att behandla lösningen med en syra. Den fraktion som fälls ut klassas som humussyror och den kvarvarande lösliga fraktionen som fulvosyror (Stevenson & Cole 1999). Färgen på humussyran kan signalera mängden kol, desto brunare humussyran är i färgen desto mer funktionella grupper (Karboxylgrupper) (Figur 1). En svart humussyra har mer kolinnehåll och går mer åt humin hållet.



*Figur 1.* Beskriver molekylvikt, innehåll (Ökar i pilarnas riktning) och färguppdelningen av humussubstanser. Från ljusgult och gult (fulvosyror) till brunt och gråbrunt (humussyror) och svart (humin). Adapterad från Stevenson & Cole (1999.) Cycles of soil. 2. Uppl.

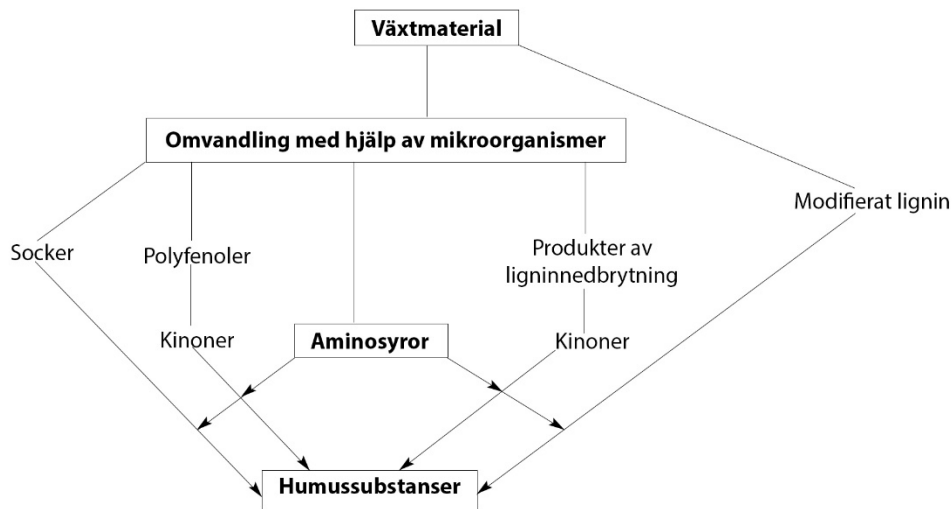


*Figur 2.* Fördelningen av humus och komponenterna av humussubstanser baserat på löslighet i olika pH. Adapterad från Stevenson & Cole (1999.) Cycles of soil. 2. Uppl.)

## 3.2 Nedbrytningsprocesser

Flera nedbrytningssteg sker innan syntesen av humussubstanser. Maskar, svampar och markdjur spelar en betydande roll i att reducera mängden organiskt material i förnan. Förnan utgör toppskiktet av jorden och består av nyligen tillagd organiskt material som för mesta del är nedbrutna växtdelar (löv, ved, bark etcetera). En del av förnan består även av rester från djur som spillning, kadaver eller andra efterlämningar (Stevenson 1994). Fortsatt nedbrytning sker genom mikroorganismer och den initiala kontakten med mikroorganismerna karaktäriseras av en snabb förlust av lätt nedbrytbara organiska substanser. Mängden kol som utnyttjas för cellsyntes varierar beroende på markens mikroflora och biprodukter består av koldioxid, ammoniak, vätesulfid, organiska syror och andra substanser som inte oxiderats fullständigt.

Nästföljande steg sker av en stor mångfald mikroorganismer som attackerar organiska föreningar och nyformade biomassor, detta producerar i sin tur ny biomassa och ytterligare förluster av kol som koldioxid. Det sista steget karaktäriseras av en stegvis och långsam nedbrytning av mer resistent organiskt material från växtdelar som lignin. Det sista steget sker främst med hjälp av actinomyceter (jordbakterier eller mögelbakterier) och svampar (Stevenson 1994). Det tros vara nedbrytningen av det resistenta materialet som humussubstanser bildas. En stor komponent till humussyror anses vara en stegvis nedbrytning av lignin där förändringar av ligninstukturen sker genom mikrobiell attack av bakterier (Figur 3). Bakterierna påverkar ligninstukturen genom förlusten av metylgrupper, generering av fenolgrupper (OH) och oxidation av sidokedjor vilket formar aktiva karboxylgrupper (Stevenson & Cole 1999). Nedbrytningen påverkas av abiotiska faktorer som jordmån och struktur. I våta sediment sker den av bakterier medan väl-dränerade jordar bryter ned lignin snabbare och där mikroskopiska svampar står för den huvudsakliga nedbrytningen (Stevenson & Cole 1999). Syntesen anses huvudsakligen ske genom nedbrytningen av lignin men även andra vägar förekommer där andra organiska föreningar bryts ner till små molekyler som tillsammans kan binda och bygga supramolekylära föreningar (Strukturer som bygger på flera molekyler som inte är kemiskt bundna till varandra) (Figur 3).



Figur 3. Illustrerar omvandlingen av växtmaterial till humussubstanser via olika vägar men där lignin och aminosyror har en betydande roll. Adapterad från Stevenson & Cole (1999.) Cycles of soil. 2. Uppl.

### 3.3 Humussubstanser

Humussubstanser har tidigare setts som heterogena organiska komponenter som produceras som en biprodukt av mikrobiell nedbrytning och vars struktur kan modifieras av polymerisering (En reaktion där monomerer sammanfogas till långa kedjor och bildar en polymer) (Stevenson 1994). Den synen har utmanats med nya analysmetoder, och en ny alternativ beskrivning av humussubstanser presenteras som supramolekylära föreningar av relativt små heterogena molekyler som innehåller micellära strukturer (Strukturer av både hydrofil och hydrofob egenskap) (Calvoa, Nelson & Kloepper 2014). Detta är en funktionell skillnad från den tidigare synen då humussubstanser nu kan bestå av vilken molekyl som helst som är så intimt bunden till det micellära strukturerna att dessa inte längre kan åtskiljas på fysiska eller kemiska sätt. Humussubstanser kan därför variera i dess innehåll och struktur beroende på vilka molekyler som ingår i det supramolekylära föreningarna.

Humussubstanser från jord har rapporterats innehålla protein, kolhydrater, alifatiska bio-polymerer, och lignin vilket är det huvudsakliga komponenterna i växter och mikrober (Calvoa, Nelson & Kloepper 2014). Detta kan jämföras med humussubstanser från brunkol som innehåller mestadels kol och nästintill inga proteiner eller kolhydrater (Stevenson & Cole 1999). Den tidigare synen att humussubstanser har en hög molekylvikt i förhållanden till icke-humussubstanser har även ändrats.

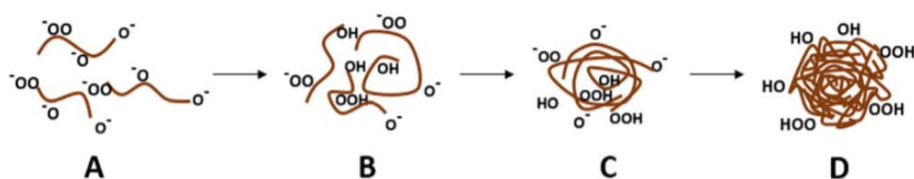


Humussubstanser ses istället ha en skenbar struktur av hög molekylvikt som genom att behandlas med mono-, di- eller tri-karboxylsyra kan fördelas till lägre molekylvikter (Calvoa, Nelson & Kloepper 2014).

Nya studier har också visat på att de amfila (ämnen med både hydrofila och hydrofoba egenskaper) egenskaper hos organiska syror i rotexudat kan upplösa humussubstanser till låg molekylvikt och hög molekylvikt. Detta stödjer hypotesen om att de konforma egenskaperna hos upplösta humussubstanserna i rhizosfären och interaktionen mellan dessa och växtens rötter styrs av mikrobiellt producerade eller rotexuderade organiska syror. Den kemiska strukturen påverkar också funktionen och det är allmänt accepterat att den hormonlika effekten av humussubstanser ges av fulvosyror och humussyror av låg molekylvikt. (Calvoa, Nelson & Kloepper 2014)

### 3.3.1 Humussyror

Humussyror består till stor del av ett flertal hydrofoba (vattenavvisande) komponenter och stabiliseras vid ett neutralt pH av hydrofoba dispergerade (Molekylerna repellerar varandra och är då finfördelade i lösningen) krafter som van der Waals (Canellas et al. 2015). Van der Waals bindningar är en avståndsberoende och växelverkande kraft mellan atom och laddning. Alla atomer har ett elektronmoln och i van der Waals förekommer det att atomernas laddning stundvis kan fördelas så att en sida är positiv och den andra negativ (likt en magnet).

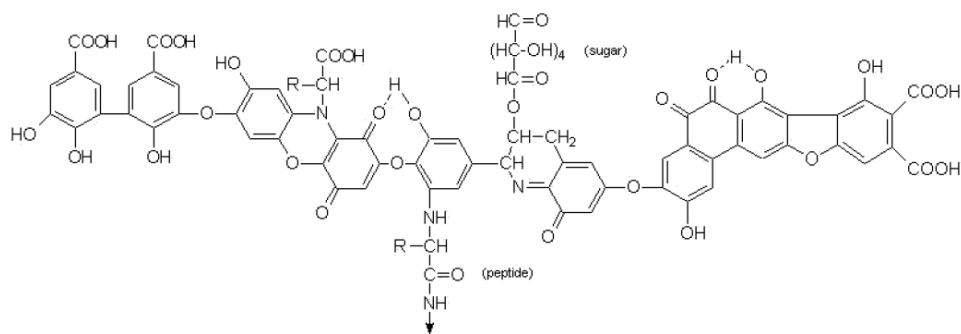


Figur 4. Illustrerar hur humussyror beter sig i olika pH. I högt pH (A) repellerar humussyrorna varandra och dessa är sprida, när pH sjunker (B och C) börjar humussyrorna bilda intermolekylära aggregat där det hydrofoba ändarna vänds inåt i strukturen och de hydrofila riktas utåt mot lösningen. I lågt pH (D) fälls humussyrorna ut. Figur från (Gomes de Melo 2015.)

Van der Waals är till skillnad från kovalenta bindningar och vätebindningar inte ett resultat av kemiska eller elektroniska bindningar. När avståndet mellan atomerna blir för litet verkar van der Waals kraft repulsivt genom att laddningar hos molekylerna har fördelats till att dessa har samma polaritet riktade mot varandra. Den repulsiva kraften gör att molekylerna är dispergerade (Figur 4, A). När pH sjunker till sura förhållanden försvagas krafter som van der Waals och kovalenta bindningar samt vätebindningar dominerar. När de hydrofoba dispergerande krafterna inte

längre verkar växa humussyrornas struktur genom att intermolekylära vätebindningar ökar i mängd mellan molekylerna (Figur 4, B och C). När pH är tillräckligt lågt har alla humussyror fällts ut i lösningen (Heyes & Clapp 2001) (Figur 4, D).

I en vanlig odlingsjord ligger pH mellan 5-7 vilket medför att större delen av humussyrorna är utfällda i jorden. Humussyrorna påverkar därför växten genom en rad olika effekter på den omkringliggande miljön i rhizosfären och rötterna (Canelas & Fábio 2014). Humussyror kan tack vare sin egenskap att donera hydroxidjoner från funktionella grupper som karboxylsyra (Figur 5) binda till jordpartiklar och bilda aggregat. Aggregaten som bildats ser till att hålla en lös, öppen och grynig struktur i jorden vilket bidrar till att öka jordens förmåga att hålla vatten. Den förbättrade markstrukturen gör att vatten och syre kan infiltrera genom jorden vilket transporterar syre till rötter och mikroorganismer. Genom ökad tillförsel av syre och vatten bildas mer koldioxid via respirationen. Den ökade respirationen av koldioxid omvandlas sedan med vatten till kolsyra vilket sänker pH förhållandet. Ett lägre pH innebär att mängden hydroxidjoner ökar vilket bidrar till att bundna näringsämnen kan frigöras och utnyttjas av växten (Malan 2015).

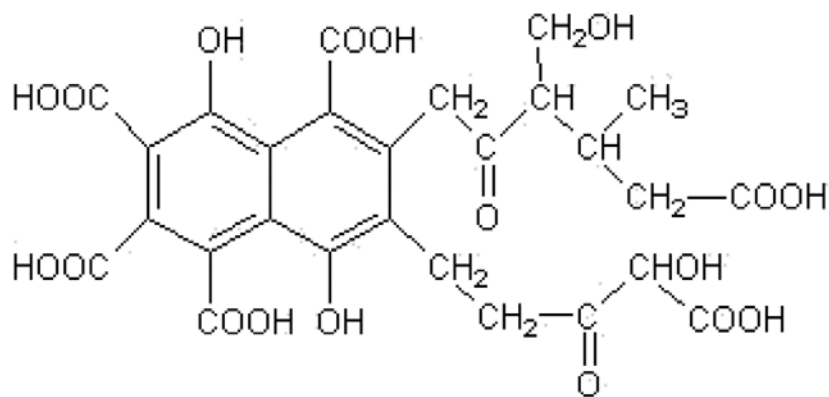


Figur 5. Kemisk struktur av humussyror från Malan (2015). Review: humic and fulvic acids, A practical approach. Notera mängden (COOH)

### 3.3.2 Fulvosyror

Fulvosyror består till större del av hydrofila (vattenbindande) komponenter (Canelas et al. 2015). Fulvosyrorna är hydrofila och innehåller tillräckligt med funktionella syragrupper för att hålla kluster av fulvosyror dispergerad i alla pH förhållanden (Canelas et al. 2015). Det är därför vanligt att fulvosyror förekommer i akvatiska miljöer (Heyes & Clapp 2001). Pågrund av hydrofila egenskaper bildar fulvosyror vattenlösliga organiska mineralkomplex. Den låga molekylvikten av fulvosyror tillsammans med lösligheten gör att de lätt kan transporteras genom växtens membran vilket direkt påverkar växtens upptag av näringsämnen. Detta gör att fulvosyror även kan användas som bladgödsel. Fulvosyror innehåller en högre andel funktionella grupper som karboxylsyra (-COOH) och har därför en större förmåga att binda

till katjoner än humussyror (Figur 6). Fulvosyror anses vara den kolföreningen som har den bästa kända kelaterade egenskapen. Fulvosyror bidrar därför till en mycket högre näringstillgänglighet än humussyror (Malan 2015). Vattenlösliga mineraler och organiska molekyler urlakas ur marken men organiska mineralkomplex urlakas i en relativt långsammare takt (Malan 2015).



Figur 6. Kemisk struktur av fulvosyror från Malan (2015). Review: humic and fulvic acids, A practical approach

### 3.4 Extrahering av humussyror

Humussyror extraheras med alkaliska lösningar, vanligtvis 0,1-0,5M lösning av natriumhydroxid, NaOH. Blandningen skakas sedan över tid (12h) (Balmori et al. 2014) för att alla lösliga ämnen i den organiska källan till exempel kompost, stallgödsel eller brunkol, ska separeras från den fasta fraktionen (huminsäror och andra olösliga föreningar). Med hjälp av ett filter separeras lösningen från den fasta fraktionen. Lösningen kan sedan centrifugeras och försuras med hjälp av en syra (6M HCL) till ett pH lägre än 2. Förurningen får humussyror att fällas ut. I den kvarvarande lösningen finns fulvosyror, som sedan kan separeras från humussyror. Produkten tvättas ren med vatten och pH kan justeras upp med en utspädd bas, till exempel 0,01 M kaliumhydroxid, KOH (Balmori et al. 2014).

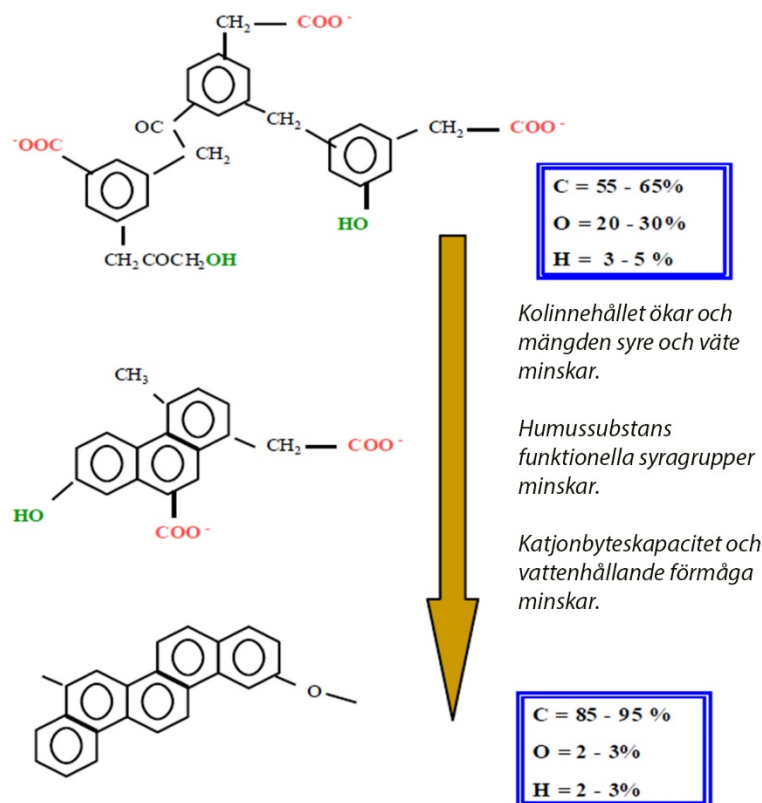
Det finns fler organiska ämnen som inte är humussyror som löser sig i baser men fälls ut vid lågt pH (Heyes & Clapp 2001). Det behöver definieras vilka organiska föreningar som är humussyror och vad som kännetecknar dessa. Det räcker inte att forskare är eniga om att dessa är naturligt förekommande och består av biologisk och heterogen, organisk substans som har mörkbrun till gråsvart färg. Det finns t.ex. produkter som uppges innehålla humussyror som har extraherats ur humusmaterial men som istället kommer från kemiskt behandlade träprodukter. Den behandlade träprodukten har inte genomgått en biologisk nedbrytning och klassas då inte som

humus som är en mikrobiellt nedbruten produkt från organiskt material. De utfällda organiska molekylerna från en sådan källa kan inte uppfylla kraven för att klassas som humussyror (Heyes & Clapp 2001).

### 3.4.1 Källmaterial

Humussyror kan extraheras från olika organiska källor som torv, brunkol, kompost, maskkompost, avloppsvatten och stallgödsel. Det visar sig att ursprungsmaterialet, källan har betydelse för hur växten kommer att påverkas (Rose et al. 2014). Fördelningen i humus mellan hydrofilt och hydrofobiskt material avgör vilken inverkan humus kommer att ha i olika miljöer (Canellas et al. 2015). Humussubstanser som isolerats från brunkol har generellt visat sig ge upphov till en sämre respons hos växter jämfört motsvarande mängder som isolerats från torv, kompost och maskkompost (Canellas et al. 2015). Används humussyror som isolerats från brunkol, krävs i genomsnitt en högre dos för att nå samma effekt som fås av humussyror isolerade från torv (Adani et al. 2008). Även graden av kompostering påverkar effektiviteten hos humussyror. Humussyror som isolerats från en komposterad källa har en högre effekt än de från en motsvarande icke komposterad källa (Balmori et al. 2014).

Brunkol kan bestå till 90 % av humussyror och är därför den största kommersiella källan till humussyror. Tillverkare av brunkolsbaserade humusprodukter ger ofta intrycket av att dessa ska ha samma biologiska och kemiska egenskaper som den humus som finns naturligt i jorden. Kompositionen av humussubstanser från brunkol skiljer sig dock avsevärt från humussubstanser i jorden och förekommer oftast som svart humus (Figur 2). Humus från brunkol är i princip fritt från viktiga ämnen som proteiner och polysackarider. De innehåller näst intill inga fulvosyror och har ett mycket högre kolinnehåll (Figur 7) (Stevenson & Cole 1999). Avsaknaden av protein och andra kväveföreningar gör även att kommersiella humussyror från brunkol inte utgör någon kvävekälla för växten. Mängden polysackarider är låg och dessa behövs för att stabila jordaggregat ska kunna bildas och alltså kan inte dessa kommersiella produkter ge positiva effekter på markstrukturen i samma utsträckning (Stevenson & Cole 1999). Humussubstanser är mer reaktiv vid högre oxidering (Figur 7). När humussubstansen reduceras bildas mer aromatiska ringar (kondenserat kol) och funktionella karboxylgrupper förloras.



Figur 7. Visar effekten av kvoten mellan Kol och Syre på humussubstansens reaktivitet vid reduktion (Malan 2015).

## 3.5 Biostimulering

### 3.5.1 Tillväxtfrämjande effekt

Generellt sätt gynnas en växt av att ha ett stort rotsystem, ett större rotsystem medför att den totala arean som växten har till sin befogenhet för att ta upp näring och vatten från omgivningen ökar. Förmågan att ta upp vatten och näring medför att en mindre risk att drabbas av vatten eller näringsbrist. Utöver växtens förmåga att ta upp vatten och näring erbjuder ett större rotsystem mer yta för mikroorganismer som är gynnsamma för växter att frodas på.

Exogen applicering av humussubstanser (humussyror och/eller fulvosyror) ger i genomsnitt 22% högre torrsvikt av skott och rötter. Den procentuella ökningen sammanställdes genom en metaanalys på 89 artiklar om humussubstanser och gjordes av Rose et al. (2014). Utöver det visade även metaanalyser att växtens respons var beroende av växtsort, stressförhållanden, i vilken takt humus applicerats och var

humusen kom ifrån. Monokotyledoner visade en högre respons än dikotyledoner men orsaken till detta är okänd (Canellas et al. 2015).

### 3.5.2 Hormonlika effekter och auxiner

Hur rotsystemet påverkas av humus diskuteras och många försök med humussyror har visat en signifikant effekt på rottillväxt (Adani et al. 2008; Jindo et al. 2011; Martomez-Balmori et al. 2014; Prakash et al. 2016). Växtens respons och bildandet av nya rötter tycks vara högre desto mer hydrofobiska humussyrorna är (Marintnez-Balmori et al. 2014). Effekten påverkas av att den högre hydrofobiska karaktären tycks inducera en högre syntes av plasma membran  $H^+$ -ATPase (protonpumpaktivitet) vilket motsvarar en typisk respons av växten till auxiner. Responsen ökade tillväxten av nya sidorötter med 36-135% (Martomez-Balmori et al. 2014).

Humussyror har till viss del visats innehålla aktiva mängder IAA (Jindo et al. 2011; Ertani et al. 2012) och mängden varierar beroende på materialet humussyrorna isolerats ifrån, samt hur komposterat materialet är (Jindo et al. 2011). Hur IAA är bundet till humussyror är inte väl förstått (Pizzeghello et al. 2013) men de föreslås förekomma som kluster inuti humussyrornas supramolekylära arrangemang (Canellas et al. 2015). Den främjande effekten har inte kunnat replikeras genom exogen tillförsel av IAA som motsvarar mängden i humussyror, vilket tyder på att dessa har en biostimulerande effekt som inte enbart beror på innehållet av IAA (Conselvan et al. 2018).

Sidorötter växer lateralt från den primära växtroten och har betydelse för förankringen av växten till marken samt för upptaget av vatten och näring. Tillväxten av sidorötter ökar markant den totala rotarean. Sidorötter härstammar från mogna odelade pericykelceller. Auxiner signalerar pericykelceller att genomgå cellcykeln och etablera nya sidorötter (Canellas & Fábio 2014). En välkänd auxin är indol-3-ättiksyra (IAA) som produceras i det apikala meristemmet och transporteras via floem ner till rötterna.

### 3.5.3 Reaktiva syreföreningar

Rollen av reaktiva syreföreningar ( $O_2$ ,  $O_2^-$ , OH och  $H_2O_2$ ) har även studerats för att försöka förstå den auxineffekt som humussyror har på växten. Reaktiva syreföreningar kan påverka tillväxten genom andra vägar än de reglerade av auxin. Signaler som skickas vid formationen av reaktiva syreföreningar är bland annat involverade i reglering och utvecklingen av ny tillväxt, reaktioner till biotisk och abiotisk stress, samt celldöd (Calvo, Nelson & Klopper 2014). Applicering av humussyror visade en ökad produktion av reaktiva syresorter i ris, framför allt  $H_2O_2$ . Måttliga mängder av humussyror visade en produktion som inte orsakade en peroxidation av lipider

och som istället främjade tillväxten och bildandet av nya sidorötter. En för hög halt av humussyror visade däremot negativ effekt på tillväxten till följd av oxidativ skada som lipidperoxidation från för höga halter av reaktiva syreföreningar (Calvoa, Nelson & Kloepper 2014).

#### 3.5.4 Främjar fördelaktiga mikroorganismer

En annan orsak till ökad tillväxt kan observeras av hur humussyror påverkar populationen av mikroorganismer. Humussyror kan beroende på ursprungsmaterialet innehålla protein, kolhydrater och lipider etcetera (Calvoa, Nelson & Kloepper 2014). Innehållet av proteiner kan i viss utsträckning fungera som en kvävekälla för mikroorganismer (Stevenson & Cole 1999). Humussyrornas förmåga att förbättra jordstrukturen förser även mikroorganismer med vatten och syre (Malan 2015). Mikroorganismer är viktiga inte minst för syntesen av humussubstanser men även för tillväxten av grödor. Mikroorganismer kan appliceras till odlingsystemet i form mikrobiellt baserade biogödsel. Biogödsel är en substans som innehåller levande organismer och som vid applicering koloniserar rhizosfären och insidan av växten. Mikrobiella baserad biogödsel produkter estimeras globalt till en produktion på över 5 trillioner dollar och anses kunna påverka växten direkt och indirekt mikrobiella aktiviteter som kvävefixering, fosfor mobilisering, kaliumlöslighet, produktionen av växthormoner och biologisk kontroll (Flores-Félix, 2019).

En av de biogödsel som studerats mest och som ses som en biostimulant är tillväxtfrämjande rhizobakterier (Calvoa, Nelson & Kloepper 2014). Tillväxtfrämjande bakterier är bakterier som gynnar växten genom att assimilera näring och producera växthormoner som IAA (Calvoa, Nelson & Kloepper 2014). Tillväxten av mikroorganismer och tillväxtfrämjande bakterier gynnas av humussyror (Oliveira de Melo et al. 2018). Humussyror ökar effekten av mikroorganismer genom att främja den endogena populationen av tillväxtfrämjande bakterier. Den ökade populationen av bakterier i växten tycks orsakas av hur humussyror påverkar rotsystemets struktur (Oliveira de Melo et al. 2018).

Applicering av tillväxtfrämjande bakterier i kombination med humussubstanser har en högre effekt än vid ensam applicering av båda i förhållande till stresstolerans, näringsupptag och rottillväxt. Den positiva synergieffekten tycks bero på att humussyror genom att stimulera bildningen av laterala rötter skapar små öppningar (sår) för bakterier att infektera växten (Oliveira de Melo et al. 2018). Den ökade mängden tillväxtfrämjande bakterier i växten stimulerar en högre densitet och längd av rothår såväl som förekomsten av nya laterala rötter vilket ökar kontaktytan av rotsystemet kopplat till de tillväxtfrämjande bakteriernas produktion av fytohormoner som auxiner, cytokinin och gibberellin (Oliveira de Melo et al. 2018). Det finns en samver-

kan mellan gynnsamma mikroorganismer och humus. Dessa mikroorganismer påverkar växten genom produktionen av fytohormoner men också genom att bryta ned organiskt material vilket bidrar till syntesen av humussubstanser.

## 3.6 Näringsupptag och tillgänglighet

### 3.6.1 Näringsupptag

Upptaget av näringsämnen kan effektiviseras av ett större rotsystem men också genom att främja växtens förmåga att transportera växtnäring genom rötternas membran. Upptaget av näring främjas av humussyrornas påverkan på H<sup>+</sup>-ATPase aktivitet (Noroozisharaf & Kaviani 2018). H<sup>+</sup>-ATPase aktivitet eller protonpumpaktivitet är den drivande kraften i upptaget och transporten av metaboliter och joner genom att skapa en elektrokemisk gradient på membranet (Calvo, Nelson & Klopper 2014). H<sup>+</sup>-ATPase är ett enzym som katalyserar reaktionerna som driver transporten av H<sup>+</sup> genom plasmamembranet. Detta påverkar den elektrokemiska gradienten över membranet genom att skapa en polaritetsskillnad på utsidan och insidan av membranet. Det är denna protonpumpsaktivitet som gör att rötterna kan ta upp katjoner genom att protonpumpsaktiviteten avgivit H<sup>+</sup> och gjort rötternas insida negativt laddade.

Ett effektivt upptag av växtnäring är fördelaktigt inte minst för den individuella odlarens ekonomi genom att minska gödselanvändningen, utan också ekologiskt genom en minskad risk för övergödning, salinisering eller eutrofiering (övergödning). En mindre tillförsel av gödsel tillsammans med det främjande egenskaper som dokumenterats om humussyror på jordstruktur, pH, mikroliv, vattenhållande förmåga etcetera. Alla dessa konsekvenser minskar de negativa ekologiska effekterna av jordbruket. En omtalad effekt i studier om humussyror är deras främjande effekt på upptaget av näring och har många gånger rapporterats öka både kväve och fosforupptaget (Adani et al. 2008). Humussyror ökar upptaget av N, P, K, Mg och Fe (Noroozisharaf & Kaviani 2018).

### 3.6.2 Kelatkomplex

Upptaget av näring främjas av en ökad tillgänglighet på grund av kelaterande egenskaper av humussyrornas funktionella syregrupper som karboxylsyra (Malan 2015) och ökad löslighet av fosfor (Noroozisharaf & Kaviani 2018). Humussyror förhind-



rar även att metaller binder till fosfor och skapar fosforkomplex som inte är tillgängliga för växten genom sin förmåga att binda till katjoner (Malan 2015; Noroozisharaf & Kaviani 2018).

## 3.7 Stresstolerans

### 3.7.1 Salinitet

Abiotisk stress kan påverka kvalitet och tillväxt av grödor. Humussyror har visat ge en ökad tolerans mot saltstress i växter (Calvo, Nelson & Kloepper 2014). Växter under saltstress som behandlats med humussyror har bland annat visat en minskad natriumkoncentration och ökad koncentration av mineraler som N, K, Ca, Mg, S och Fe jämfört med obehandlade växter (Esringu et al. 2016). Saltstress leder ofta till en hög formation av reaktiva syresorter som superoxid och väteperoxid. Reaktiva syresorter stör metabolismen genom oxidativ skada på lipider, protein och nukleinsyror (Esringu et al. 2016). En ökad stresstolerans är ofta ett tecken på en förbättrad aktivitet av växtens antioxidativa system (Esringu et al. 2016). Humussyror i salina jordar har associerats med att minska jordens elektriska konduktivitet och ett minskat läckage av proline från växten (Calvo, Nelson & Kloepper 2014). Proline är en antioxidativ aminosyra som ofta används som indikator för abiotisk stress eftersom att proline utsöndras när växten är under stress för att skydda mot oxidativ skada (Calvo, Nelson & Kloepper 2014).

### 3.7.2 Vattenstress

Växtens tolerans till abiotisk stress från applicering av humussyror har även visats på liknande sett för plantor utsatta för torka (Calvo, Nelson & Kloepper 2014). Under torka minskar växtens fotosyntes och bladens innehåll av klorofyll. Även vid vattenstress ackumuleras reaktiva syreföreningar som kan orsaka oxidativ skada på växten (Lotfi et al. 2014). På växter som utsattes för vattenstress ökade humussyror mängden klorofyll i bladen både för stressade och ostressade plantor (Lotfi et al. 2014). Appliceringen av humussyror visade också på en ökad effektivitet av fotosystem I och II. Effekten tyckts visa att humussyror påverkar klyvöppningen och förbättrar gasutbytet (Lotfi et al. 2017). Någon som kan stärkas av tidigare bevis på att humussyror påverkar H<sup>+</sup>ATPase, ett enzym som har stor betydelse för gasutbytet (Lotfi et al. 2017). Enzymen är av betydelse eftersom att detta påverkar den elektrokemiska gradienten av protoner på plasmamembranet och ökar den aktiva transporten genom membranet (Lotfi et al. 2017).

## 4 Diskussion

### 4.1 Odlingssystem globalt och problematiken med humus från brunkol

Flera vetenskapliga artiklar och försök har visat att humussyror har en biostimulerande effekt. Det kan öka grödornas växtproduktivitet och förbättra skörden av växter framför allt för grödor utsatta för stress. Humussyrornas främjande effekt på växtens tolerans mot salt och vattenstress kan ha stor betydelse framför allt i länder där vattentillgängligheten är låg eller där saliniteten i jorden är hög. Stresstoleransen har även för länder som Sverige, framför allt när nederbörden är låg som sommaren 2018. Humussyror ökar växtens tolerans till salinitet (Calvoa, Nelson & Kloepper 2014). Eftersom omkring 3% av våra odlingsbara jordar drabbats av salinisering till följd av antropogen påverkan kan humussyror vara ett möjligt hjälpmedel för att fortsätta producera på jordar som nuvarande har en minskad produktivitet. Att humussyror minskar de negativa effekterna av abiotisk stress är inte bara relevant i utsatta områden men kan också betyda att en applicering av humussyror kan minska mängden vatten som behövs för samma mängd skörd.

En effektivare växt är inte bara bra för vår miljö genom att minska resurserna som krävs för produktion utan också för att göra odlingssystemen mer ekonomiskt hållbara. Trots detta finns det nackdelar med denna marknad, en majoritet av produkterna som finns av humussyror kommer från brunkol. Effekten av dessa produkter har visats positiva både för tillväxten och näringsupptaget (Tahir et al. 2010). Trots det anses effekten inte vara lika hög för dessa produkter i jämförelse med humussyror från jord (Stevenson & Cole 1999). Humussyror är supramolekylära strukturer som bygger på de nedbrutna delarna av i princip alla molekyler som finns närvarande i materialet. I en jord finns det beroende på omgivningen en hög variat-

ion av material från växter och djur. De supramolekylära strukturerna från jord innehåller därför en större mängd olika föreningar (protein, kolhydrater, lipider etcetera.) (Calvoa, Nelson & Kloepper 2014).

Mängden organiska föreningar påverkar också den mikrobiella populationen. Bakterier har visats producera växthormoner, enzymer och organiska syror. En högre population av mikroorganismer medför därför också att det finns en hög mängd växthormoner som IAA, något som tros förekommer som kluster i de supramolekylära strukturerna i humussyror (Canellas et al. 2015). Mängden IAA anses dock inte vara av lika stor betydelse för humussyrornas bioaktivitet som mängden funktionella grupper (Jindo et al. 2011) något som ökade i humussyror från komposterade material. Komposteringen av material tycks också ge humussyror som är mer hydrofob. Den hydrofoba graden av humussyror tycks påverka effekten dessa har på H<sup>+</sup>ATPase (Jindo et al. 2011) vilket troligtvis är den största effekten som humussyrorna har på växtproduktivitet.

En av de troligtvis största skillnaderna mellan humussyror från brunkol och andra källor som torv eller kompost är mängden funktionella grupper. Produkter från brunkol har troligtvis ett högre kolinnehåll och lägre mängd aminosyror, polysackarider och funktionella grupper som karboxylsyra (Stevenson & Cole 1999). Detta är förmodligen anledningen till att produkter från brunkol behöver appliceras i en högre dos för att nå maximal effekt. Något som visades på hydroponiskt odlade tomater där det krävdes mer än dubbelt så hög dos i mg L<sup>-1</sup> för att nå samma effekt med humussyror från brunkol jämfört med torv (Adani et al. 2008). Brunkol men även torv är något som det finns en konsensus i samhället att minska användningen av. Det pågår stora debatter och demonstrationer i Tyskland angående gruvdriften och skövlingen av skog för brunkolsindustrin. I Sverige sker även debatter i kommuner om att minska eller helt upphöra med den fortsatta brytningen av torv. Dock medför detta problem när det kommer till tillverkningen av produkter med humussyror.

Trots att effekten av brunkolsbaserade humussyror är mindre än de från exempelvis kompost går det inte att komma undan det procentuella innehållet som dessa fossila källor har. Leonardit vilket är en oxiderad produkt av brunkol och en av de största källorna till humussyror kan i genomsnitt innehålla mer än 90% humussyror (Malan 2015). En kompost av hög kvalitet innehåller mellan 5-8%. Att ha en industriell produktion av humussyror från kompost känns med tanke på innehållet nästan orimlig. Det är dock viktigt att komma ihåg att kompost trots det låga innehållet av humussyror är organiskt material. Allt det organiska materialet är potentiellt framtida humussyror. Så länge det finns mikroorganismer i marken kommer dessa att bryta ned det organiska materialet vilket bidrar till en stor mängd komponenter som kan bilda strukturer som humussubstanser. Den låga mängden humussyror i kompost har troligtvis att göra med tiden som nedbrytningsförloppet har pågått. Brunkol

som är en fossil produkt har ett högt innehåll av humussubstanser då nedbrytningsförloppet pågått under en lång tid, från organiskt material till torv och till sist till brunkol.

## 4.2 Optimerad resursanvändning och förbättrad vinst

Humussyror ökar skörd, kvalitet och tolerans hos växten när dessa appliceras till odlingsystemet. Men detta bör sättas in på ett hållbart sätt. Om målet är att öka bördigheten genom att tillsätta humussyror för att förbättra katjonbyteskapacitet kommer detta vara dyrt genom applicering av humus. Liknande effekter kan nås till ett lägre pris genom att tillföra organiskt material som kompost och stallgödsel (Malan 2015). Tillförsel av kompost och stallgödsel gynnar även mikroorganismer som kolkälla, den ökade mängden mikroorganismer gynnar växten genom produktionen av fytohormoner och organiska syror. Det organiska materialet kan med tid omvandlas med mikrobiell metabolism till humussubstanser.

Humussubstanser kan sättas in vid behov tillsammans med organiskt material för att öka växtproduktiviteten. En kombinerad tillförsel av biostimulanter och gödsel kan även minska resursbehovet som anses vara nödvändigt. I en artikel testade fyra olika behandlingar, 100% NPK, 40%NPK, 100%NPK+ Humussubstanser och 40%NPK +Humussubstanser. I studien hade 40%NPK + Humussubstanser trots den minskade mängden gödsel en högre skörd än 100%NPK (Koleska et al. 2017). Detta visar att humussyror kan tillföras i kombination med gödsel för att öka produktiviteten samtidigt som den exogena tillförseln av resurser kan minska. Tillförsel av biostimulanter ger också generellt en vinst som är högre än kostnaden. I en studie av Santoso et al 2017 'plant biostimulant to improve plant productivity and planters profit' testades biostimulanter i förhållande till växtproduktivitet och vinst. Tillförsel av biostimulanter ökade produktiviteten av grödor mellan 25-50% och den ytterligare vinsten för alla grödor var 8-17% högre än de kostnader som tillkom av biostimulanten i form av inköp och arbetsinsats (Santoso et al. 2018).

## 4.3 Förbättrar odlingsäsong

Odlingssäsong har stor betydelse ekonomiskt framför allt för den Svenska odlaren. Den korta säsongen och begränsade mängden solljus gör att många grödor behöver resursinsatser för att förlänga odlingsäsongen. Detta är båda kostsamt och arbetskrävande, och kostnader skulle kunna minska genom att optimera växten till att livscykeln är så snabb som möjligt. Humussyror som har en visad effekt att öka gasutbytet hos växten (Lotfi et al. 2017) skulle kunna förbättra odlingsäsongen för grödor odlade i Sverige. Ett högt gasutbyte betyder att växtens assimilerar mycket

koldioxid från luften. En hög kapacitet att binda koldioxid gör att växten utvecklas fortare och ökar chansen att grödor ska hinna genomgå en full livscykel för optimal skörd i det svenska klimatet.

#### 4.4 Svensk odling

Sverige har en ung natur och några av de bördigaste jordarna. Trots detta har Sverige en självförsörjningsgrad på bara 50% och endast 20% av det vi odlar går till livsmedel, resten blir foder, bränsle, sprit, utsäde etcetera. Svenska odlare har svårt att konkurrera med priset på mat i affärer från importerade produkter till stor del för svårigheten i att få en stor skörd under den korta odlingssäsongen. För främka svenska produkters konkurrens på marknaden och öka självförsörjningsgraden behöver framför allt insatser göras för att se till att odlingssäsongen optimeras. Detta innefattar att maximera växtens livscykel och optimera användningen av resurser för att nå en hög avkastning.

Precisionsodling och syftar att anpassa tillförsel av resurser till rådande förhållande i marken och utefter växternas behov. Detta kan göras genom jordanalyser eller med moderna fotosyntes mätare (Figur 8) som LI- 6800 (LI-COR, Inc. (2017) Lincoln, NE, USA). Mätare som LI-6800 kan läsa av växtens upptag av CO<sub>2</sub>, Transpirationen av H<sub>2</sub>O, konduktiviteten av klyvöppningar och växtens vattenanvändning. Med hjälp av sådana mätningar kan resursanvändningen anpassas efter växternas behov, om mätningen av CO<sub>2</sub> upptaget hos växten är lågt (Enligt globala standardvärden för C<sub>3</sub>, C<sub>2</sub> eller CAM) vet odlaren att åtgärder behöver sättas in. Biostimulanter som humusyror och tillväxtfrämjande bakterier kan tillsammans med analyser sättas in för att öka produktiviteten i områden av fält eller växthus där produktivitet är låg samtidigt som gödselanvändningen kan minska. Med hjälp av precisionsodling skulle Svenska odlare kunna öka förutsättningarna för att nå optimal avkastning.



*Figur 8.* Mätning av gasutbytet hos en squash plant, ett värde på 24ppm i upptag av CO<sub>2</sub> är optimum för C3 växter. Är värdet lägre kommer växten inte ge optimal skörd. (Foto: Philip Juhlin)

#### 4.5 Skillnaden på biostimulanter och andra tillväxtfrämjande produkter

Studien har beskrivit ingående vad humussyror är men den kan hända att dessa kan ses som gödsel. Det är därför viktigt att skilja dessa från en sådan definition. Biostimulanter är som tidigare nämnts ämnen av biologiskt ursprung som ökar växtproduktivitet, detta vid appliceringen av små mängder. Små mängder är kanske nyckelordet här som skiljer biostimulanter från andra organiska produkter som stallgödsel vilket också ökar växtproduktivitet men som måste appliceras i större mängder. I metaanalysen av Rose et al. (2014) analyserades 89 artiklar på humussubstanser och där resultatet gav en effektiv dos av humussyror för ökad tillväxts som låg omkring 20mg/kg substrat eller 20kg/ha. Det krävs med andra ord inte stora mängder av produkten för att nå en optimal effekt.

Trots detta saknas regleringar för biostimulanter och det kan idag antingen falla under nationella regleringar för gödselmedel eller under Europiska växtskyddslag (Jardin 2015) då det bland annat lyder som att dessa regleringar ska appliceras på produkter i den form de levereras till användaren, som innehåller eller består av aktiva substanser, synergister eller avses att användas för följande påstående:

(a) Influera livsprocesser hos växten, som substanser vilka påverkar tillväxt annat än som näringsämne.

Och då alla typer av biostimulanter påverkar växten utan att verka som ett näringsämne faller alltså alla in under denna reglering. Det finns behov av mer kunskap och organ för regleringen av dessa produkter. Regleringen behövs framför allt för att kontrollera kvaliteten hos produkter för att konsumenten ska vara säker på att produkten kan förväntas göra det den ska. Som tidigare nämnts för humussyror från brunkol kan inte dessa förväntas ha alla egenskaper som humussyror från kompost. Trots detta marknadsförs många av dessa produkter under sådana antaganden att alla humussyror har liknande effekt oavsett ursprung.

## 4.6 Andra biostimulanter att nämna

Biostimulanter begränsas inte enbart till humussubstanser utan det finns en mängd andra produkter på marknaden. Forskare är överens om ett flertal ämnen som kan klassas som biostimulanter och kategoriseras i en publicering av scientia horticulture "Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation" av Jardin.P (2015) till.

1. Humus och fulvosyror som nämnts i denna litteraturstudie:  
Ökar tillväxt och växtens tolerans till biotisk och abiotisk stress.
2. Protein hydrolysat:  
aminosyror och peptidblandningar som framställs genom enzymatisk protein hydrolys av rester från jordbruksindustrin (både från växter och djur). Ökar växtens tolerans till biotisk och abiotisk stress
3. Sjögräsextrakt:  
Innehåller en blandning av fytohormoner, polysaccarider och mikronäringsämnen, Ökar växtens tillväxt och tolerans till biotisk och abiotisk stress.
4. Inoculering av bakterier:  
Ökar växtens upptag av makro och mikronäringsämnen samt främjar tillväxt genom produktionen av fytohormoner.
5. Inoculering av svampar:  
Ökar närings- och vattenupptaget samt främjar växtens tolerans till abiotisk och biotisk stress

## 5 Slutsats

Humussyror är en produkt som skapas genom den mikrobiella nedbrytningen av organiskt material och som skiljer sig från andra organiska strukturer genom att dessa är pigmenterade och av högre molekylvikt. Humussyror är supramolekylära föreningar och innehåller micellära strukturer. Humussyror kan bestå av vilken molekyl som helst som är så intimt bunden till de micellära strukturerna att de inte längre kan åtskiljas.

Materialet som humussyror utvinns från har en stor betydelse för den bioaktiva egenskapen och växtresponserna ökar desto mer komposterat materialet som humussyran utvinns ifrån är. Effekten som humussyror visar på växten är att öka upptaget av näringsämnen, öka rottillväxten, främja toleransen mot abiotisk och biotisk stress samt främja tillväxten av gynnsamma mikroorganismer i rhizosfären och inuti växten. Humussyror visar på goda möjligheter för att kunna effektivisera odlingsystemen genom en applicering för att höja humussyrorna i jorden eller substratet. Detta skulle enligt de artiklar som finns på humussyror kunna öka skörden och minska användningen av gödsel och växtskyddsmedel.

Ekonomiskt visar även humussyror positiva resultat i en vinst som är högre än kostnader som tillkommit av produkten. Globalt skulle humussyror kunna appliceras för att öka mängden humussubstanser i det utarmade jordarna och öka skörden i förhållanden som salinitet och torka. För den Svenska odlaren kan humussyror potentiellt förbättra odlingssäsongen och öka förutsättningarna för maximal skörd. Humussyrornas effektivitet har visats i en mängd studier och appliceringen av humussyror börjar bli rutin i odlingar globalt (Calvo, Nelson & Kloepper 2014), men inga sådana rutiner verkar implementerats i Sverige. Mer forskning behövs även för hur humussyror kan produceras hållbart utan användningen av brunkol för att utvinna en så bioaktiv produkt som möjligt.



## 6 Referenslista

- Abdel-Monaim, F.M., Ismail, E.M & Morsy, M.K. (2011). Induction of Systemic Resistance of Benzothiadiazole and Humic Acid in Soybean Plants against Fusarium Wilt Disease. *Mycobiology*, Vol. 39(4), ss. 290-298. DOI: <http://dx.doi.org/10.5941/MYCO.2011.39.4.290>
- Adani, F., Genevini, P., Zaccheo, P & Zocchi, G. (2008) The effect of commercial humic acid on tomato plant growth and mineral nutrition, *Journal of Plant Nutrition*, Vol. 21(3), ss. 561-575. DOI: <http://doi.org/10.1080/01904169809365424>
- Adeleke, R., Nwangburuka, C & Oboirien, B. (2017). Origins, roles and fate of organic acids in soils: A review. *South African Journal of Botany*, Vol. 108, ss. 393-406. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.sajb.2016.09.002>
- Bado, B.V & Bationo, A. (2018). Integrated Management of Soil Fertility and Land Resources in Sub-Saharan Africa: Involving Local Communities. *Advances in Agronomy*, Vol. 150, ss. 1-33. DOI: <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2018.02.001>
- Calvo, P., Nelson, L & Kloepper, W. J. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant Soil*, V.383, ss. 3-41. DOI: <http://doi.org/10.1007/s11104-014-2131-8>
- Canellas, P. L & Olivares, L.F. (2014). Physiological responses to humic substances as plant growth promoter, *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*. Tillgänglig: <http://www.chembioagro.com/content/1/1/3>
- Canellas, P.L., Olivares, L.F., Aguiar, O.N., Jones, L.D., Nebbioso, A., Mazzei, P & Piccolo, A. (2015). Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, Vol. 196, ss.15-27. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.013>
- Conselvan, B.G., Fuentes, D., Merchant, A., Peggion, C., Francioso, O & Carletti, P. (2018) Effects of humic substances and indole-3-acetic acid on Arabidopsis sugar and amino acid metabolic profile. *Plant Soil*, Vol. 426, ss. 17-32. DOI: <http://doi.org/10.1007/s11104-018-3608-7>
- Ertani, A., Pizzeghello, D., Baglieri, A., Cadili, V., Tambone, F., Gennari, M & Nardi, S. (2012) Humic-like substances from agro-industrial residues effect growth and nitrogen assimilation in maize (*Zea mays* L.) plantlets. *Journal of Geochemical Exploration*, Vol. 129, ss. 103-111. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gexplo.2012.10.001>
- Esringü, A., Kaynar, D., Turan, M & Ercisli, S. (2016). Ameliorative Effect of Humic Acid and Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) on Hungarian Vetch Plants under Salinity Stress. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, Vol. 47(5), ss. 602-618. DOI: <https://doi.org/10.1080/00103624.2016.1141922>

- Fließbach, A., Oberholzer, R.H., Gunst, L & Mäder, P. (2006). Soil organic matter and biological soil quality indicators after 21 years of organic and conventional farming. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Vol. 118, ss. 273-284. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.agee.2006.05.022>
- Flores-Félix, D.J., Menéndez, E., Rivas, R & Velázquez, E.M. (2019) Future Perspective in Organic Farming Fertilization: Management and Product. *Organic Farming: Global perspectives and methods*, ss. 269-315. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813272-2.00010-0>
- Gerke, J. (2018). Concepts and Misconceptions of Humic Substances as the Stable Part of Soil Organic Matter: A Review. *Agronomy*, Vol. 8. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy8050076>
- Gomes de Melo, A.B., Motta, L. F & Santana, A.H.M. (2015). Humic acids: Structural properties and multiple functionalities for novel technological developments. *Materials Science and Engineering C*, Vol. 62, ss. 967-674. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.msec.2015.12.001>
- Hayes, B.H.M & Clapp, E.C. (2001). Humic Substances: Considerations of Compositions, Aspects of Structure, And Environmental Influences. *Soil Science*, Vol.166 (11), ss. 723-737. DOI: [0038-0752/01/16611-723-737](https://doi.org/10.1016/S0038-0752(01)16611-7)
- Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation, *Scientia Horticulturae*, V. 198, ss. 3-14. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>
- Jindo, K., Martim, A.S., Navarro, C.A., Pérez-Alfocea, F., Hernandez, T., Garcia, C., Aguiar, O.N & Canellas, P.L. (2011) Root growth promotion by humic acids from composted and non-composted urban organic wastes. *Plant Soil*, Vol. 353, ss. 209-220. DOI: 10.1007/s11104-011-1024-3
- Johnston, E.A., Poulton, R.P & Coleman, K. (2009). Soil Organic Matter: its Importance in Sustainable Agriculture and Carbon Dioxide Fluxes. *Advances in Agronomy*, Vol. 101, ss. 1-57. DOI: [http://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)00801-8](http://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)00801-8)
- Khorasaninejad, S., Ahmadabadi, A. A & Hemmati, K. (2018). The effect of humic acid on leaf morphophysiological and phytochemical properties of *Echinacea purpurea* L. under water deficit stress. *Scientia Horticulturae*, Vol. 239, ss. 314-323. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.03.015>
- Koleška, I., Hasanagić, D., Todorović, V., Klokić, I., Paradiković, N & Kukavica, B. (2018). Biostimulants prevents yield loss and reduces oxidative damage in tomato plants grown on reduced NPK nutrition. *Journal of Plant Interactions*, Vol. 12(1), ss. 209-218. DOI: <https://doi.org/10.1080/17429145.2017.1319503>
- Lotfi, R., Gharavi-Kouchebagh, P & Khoshvaghti, H. (2015). Biochemical and Physiological Responses of *Brassica napus* Plants to Humic Acid under Water Stress. *Russian Journal of Plant Physiology*, Vol. 62(4), ss. 480-486 DOI: <http://doi.org/10.1134/S1021443715040123>
- Lotfi, R., Kalaji, M.H., Valizadeh, R.G., Behrozyar, K.E., Hemati, A., Gharavi-Kochebagh, P & Ghassemi, A. (2018). Effect of humic acid on photosynthetic efficiency of rapeseed plants growing under different watering conditions. *Photosynthetica*, Vol. 56(3), ss. 962-970. DOI: <http://doi.org/10.1007/s11099-017-0745-9>
- Malan, C. (2015). *Review: Humic and Fulvic Acids, A Practical Approach*. Under Sustainable soil management symposium. Stellenbosch, 5-6 November 2015, Agrilibrum.

- Martinez-Balmori, D., Spaccini, R., Aguiar, O.N., Novotny, H.E., Olivares, L.F & Canellas, P.L. (2014). Molecular Characteristics of Humic Acids Isolated from Vermicomposts and Their Relationship to Bioactivity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Vol. 62, ss. 11412-11419. DOI: <http://dx.doi.org/10.1021/jf504629c>
- Noroozhisarraf, A & Kaviani, M. (2018) Effect of soil application of humic acid on nutrients uptake, essential oil and chemical composition of garden thyme (*Thymus vulgaris* L.) under greenhouse conditions. *Physiol Mol Biol Plants*, Vol. 24(3), ss. 423-431. DOI: <http://doi.org/10.1007/s12298-018-0510-y>
- Oliveira de Melo, R., de Oliveira, P.H., Silveira, C.K., Baldotto, B.E. L & Baldotto, A.M. (2018). Initial performance of maize in response to humic acids and plant growth-promoting bacteria. DOI: <http://doi.org/10.1590/0034-737X201865030007>
- Park, S., Kim, S.K., Kang, D., Yoon, H & Sung, K. (2012). Effects of humic acid on heavy metal uptake by herbaceous plants in soils simultaneously contaminated by petroleum hydrocarbons. *Environ Earth Sci*, Vol. 68, ss. 2375-2384. DOI: <http://doi.org/10.1007/S12665-012-1920-8>
- Pizzeghello, D., Francioso, O., Ertani, A., Muscolo, A & Nardi, S. (2012) Isopentenyladenosine and cytokinin-like activity of different humic substances. *Journal of Geochemical Exploration*, Vol. 129, ss. 70-75. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gexplo.2012.10.007>
- Prakash, P., Prasad, U., Sunkar, S., Krishna, S.N.M.D., Gala, A. A & Kumar, A. (2016). Formulation of Vermiwash and Humic Acid and its Application on *Allium cepa*. *Biosciences biotechnology research asia*, Vol. 13(1), ss. 523-529. DOI: <http://dx.doi.org/10.13005/bbra/2064>
- Reeves, W.D. (1997). The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil & Tillage Research*, Vol. 43, ss. 131-167
- Rose, T.M., Patti, F.A., Little R.K., Brown, L.A., Jackson, R.W & Cavagnaro, R.T. (2014). A Meta-Analysis and Review of Plant-Growth Response to Humic Substances: Practical Implications for Agriculture. *Advances in agronomy*, vol. 124, ss. 37-53. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800138-7.00002-4>
- Santoso, D., Gunawan, A., Budiani, A., Sari, A.D & Priyono (2018). Plant biostimulant to improve crops productivity and planters profit. *Earth and Environmental Science*, Vol. 183 DOI: 10.1088/1755-1315/183/1/012017
- Stevenson F.J & Cole M.A. (1999). *Cycles of Soil – Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur, Micronutrients*. 2. Uppl. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Stevenson F.J. (1982). *Humus chemistry – Genesis, Composition, Reaction*. 1. Uppl. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Stevenson, F.J. (1994). *Humus chemistry – Genesis, Composition, Reaction*. 2. Uppl. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Tahir, M.M., Khurshid, M., Khan, Z.M., Abbasi, K.M & Kazmi, H.M. (2011). Lignite-Derived Humic Acid Effect on Growth of Wheat Plants in Different Soils, *Pedosphere*, Vol. 21, ss. 124-131.

## Tack/Acknowledgements

Jag vill avsluta denna litteraturstudie med att tacka min handledare Helena Karlén på institutionen för biosystem och teknologi. För all den tid hon lagt på handledningstimmar och till att korrespondera via mail, långt över det som förväntades och krävdes av kursen.

Jag vill också tacka min partner Julia för att hon motiverat mig till att skriva alla de dagar som jag velat ge upp.

Slutligen vill jag Tacka alla läsare.