



# Växt-växtbaserad kommunikation med luftburna signalsubstanser

– Hur sortblandningar påverkade tillväxten hos  
vårkorn

---

*Plant-plant mediated interactions by volatile organic compounds – a study  
of how cultivar mixtures affected the growth patterns of spring barley*

Alexander Pettersson

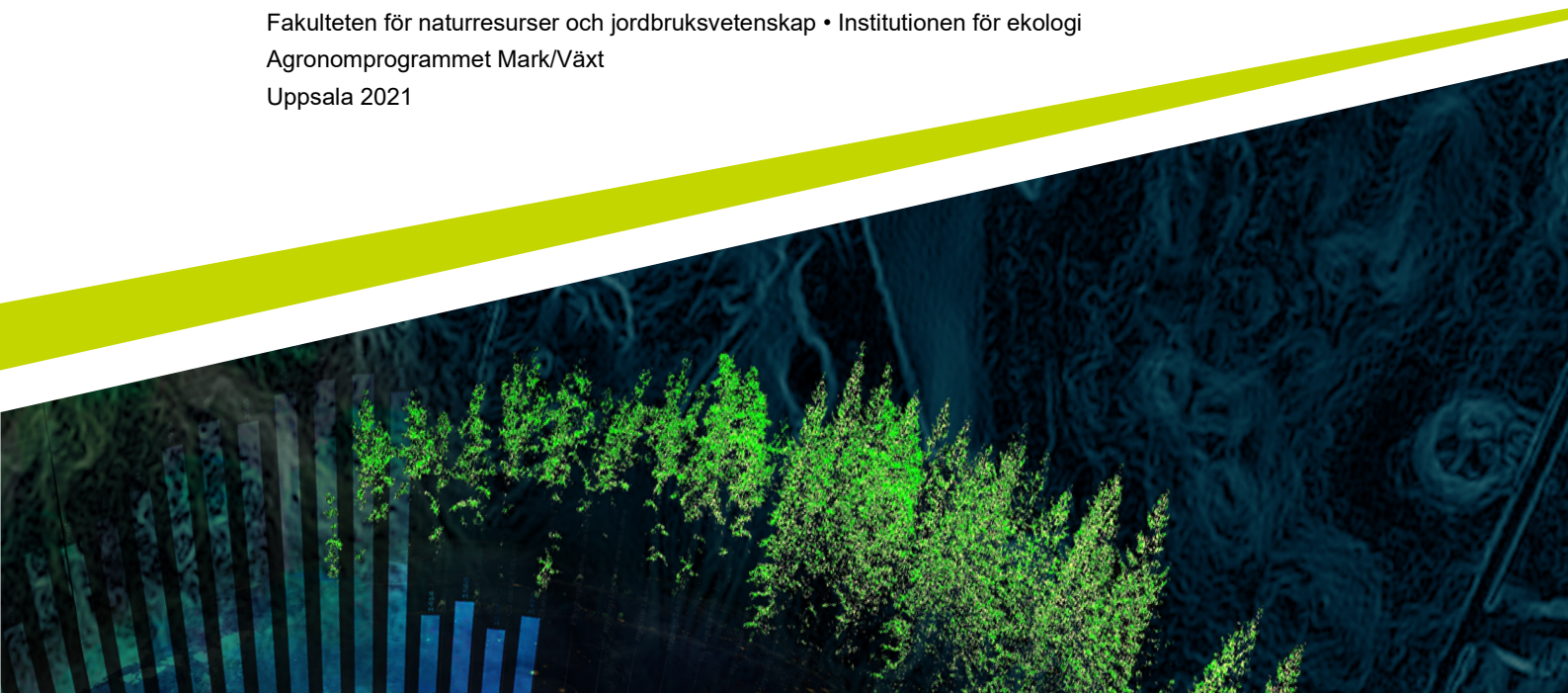
Självständigt arbete • 15 hp

Sveriges lantbruksuniversitet, SLU

Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap • Institutionen för ekologi

Agronomprogrammet Mark/Växt

Uppsala 2021





# Växt-växtbaserad kommunikation – Hur sortblandningar påverkade tillväxten hos vårkorn

*Plant-plant mediated interactions by volatile organic compounds – a study of how cultivar mixtures affected the growth patterns of spring barley*

Alexander Pettersson

**Handledare:** Velemir Ninkovic, SLU, Institutionen för ekologi  
**Bitr. handledare:** Dimitrije Markovic, SLU, Institutionen för växtproduktionsekologi  
**Examinator:** Anneli Lundkvist, SLU, Institutionen för växtproduktionsekologi

**Omfattning:** 15 hp  
**Nivå och fördjupning:** Grundnivå, G2E  
**Kurstitel:** Självständigt arbete i Biologi  
**Kurskod:** EX0894  
**Program/utbildning:** Agronomprogrammet, Mark/Växt  
**Kursansvarig inst.:** Institutionen för vatten och miljö

**Utgivningsort:** Uppsala  
**Utgivningsår:** 2021  
**Nyckelord:** Allelobios, allelopati, flyktiga organiska substanser, vårkorn

**Sveriges lantbruksuniversitet**  
Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap  
Institutionen för ekologi

## Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (pdf-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Fulltexten kommer dock i samband med att dokumentet laddas upp arkiveras digitalt.

Om ni är fler än en person som skrivit arbetet så gäller krysset för alla författare, ni behöver alltså vara överens. Läs om SLU:s publiceringsavtal här: <https://www.slu.se/site/bibliotek/publicera-och-analysera/registrera-och-publicera/avtal-for-publicering/>.

JA, jag/vi ger härmed min/vår tillåtelse till att föreliggande arbete publiceras enligt SLU:s avtal om överlåtelse av rätt att publicera verk.

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

## Sammanfattning

Växter utgör grunden för många ekosystem och näringskedjor. Som platsbundna organismer behöver växter kunna anpassa sig efter de rådande förutsättningarna kring växtplatsen. Växter anpassar sig inte bara efter abiotiska faktorer, utan även stress från skadegörare och andra växter spelar en stor roll för en växtens överlevnad. För oss människor har växter en lika stor betydelse som deras betydelse i naturliga ekosystem. Dagens kulturväxter står för en stor andel av vårt dagliga energiintag, och krav på en försäkrad livsmedelsproduktion ökar i takt med klimatförändringar och degradering inom naturliga ekosystem. Att hitta och undersöka mer hållbara odlingsmetoder, som exempelvis odling av flera sorter tillsammans, minskar kravet som jordbruket ställer på både vattenanvändningen och den närliggande miljön samt som ökar motståndskraften inom odlingen är därför av stor vikt. Denna studie syftade till att utforska sortblandningar som odlingsmetod. Detta gjordes genom att undersöka de luftbaserade allelopatiska interaktioner som förekommer bland växter för att se om en vårkornssort kan anpassa sig efter luftburna signalsubstanser som avges från en annan sort. I samband med studien utfördes laborativt arbete under 35 dagar för att undersöka eventuell skillnad i tillväxt och utveckling hos vårkornssorten Salome när denna utsattes för luftburna signalsubstanser från en annan vårkornssort, totalt så ingick fyra olika vårkornssorter i den laborativa delen där varje sort har distinkta egenskaper. Växtfysiologiska data samlades in ifrån varje sortkombination för att undersöka hur avgivarsorten påverkade vårkornssortens Salomes tillväxt. I studien fann man att Salome lyckas identifiera och anpassa sig efter den andra sorten som ingick i sortkombinationen. Positiva korrelationer hittades mellan de olika sortkombinationerna, och resultaten visade på att det fanns både gynnsamma och negativa anpassningar hos vårkornssorten Salome baserat på vilken annan sort som ingick i sortkombinationen. Resultaten visade att sortblandningar har potential som odlingsmetod, men att det är väsentligt att undersöka vilka sortkombinationer som ger vilka resultat i ett odlingssystem. Sammanfattningsvis så spelar det alltså roll vilka sorter som ingår i en sortkombination baserat på vad man vill uppnå, alla sortkombinationer ger inte samma resultat, och därav uppstår vikten av att öka förståelsen kring de interaktioner som uppstår inom ett växtsamhälle eller på fältnivå.

*Nyckelord: Allelobios, allelopati, flyktiga organiska substanser, vårkorn*

## Abstract

Plants are the foundation for most land-based ecosystems and food webs. As sessile organism's plants lack the ability to spatially avoid stress, and therefore their need to adapt to prevailing conditions increase. However, plants do not only adapt and respond to abiotic stress factors, but also to stress cues from other organisms such as pests and other plants. Plants are vital to humans as they are to most ecosystems, they make up the majority of our calorific intake each day, and demands for increased sustainability within the agricultural sector increase with each year that goes by. Understanding and researching new and concurrent viable farming practices is therefore vital to maintain or increase the current productivity of most farmlands. This study aimed to explore and understand the potential use of cultivar mixtures, by examining the aerial allelopathic or allelobiotic interactions that occur within plant-societies. Laboratory work was done over 35 days in order to study the underlying differences in development and growth patterns that may occur within different cultivar combinations. In doing so four different spring barley cultivars were chosen, one of these cultivars, Salome, acted as the measurement cultivar, and was exposed to volatile organic compounds from either itself, or from the other three cultivars, each in separate combinations. The study then examined the adaption that would occur from Salome when these interactions by volatile organic compounds happened. Two harvests of the plants within the cultivar combinations were done over a total of 35 days, and physiological - and morphological data were gathered. Positive correlations were found within the different cultivar combinations, and the results show that there are cultivar mixtures that have both negative- and positive impacts on Salome's growth and development. The results therefore suggest that cultivar mixing as a farming practice has potential to increase the productivity of spring barley, but that further studies withing this specific scientific area needs to be done to gain a better understanding of the underlying mechanics. In conclusion this study showed that not all cultivar combinations function the same, and that different cultivar combinations can give different results. It is therefore of a certain merit to understand the underlying plant-based interactions both on a stand level as well as in plant-societies.

*Keywords: Allelobiosis, allelopathy, spring barley, volatile organic compounds*

# Innehållsförteckning

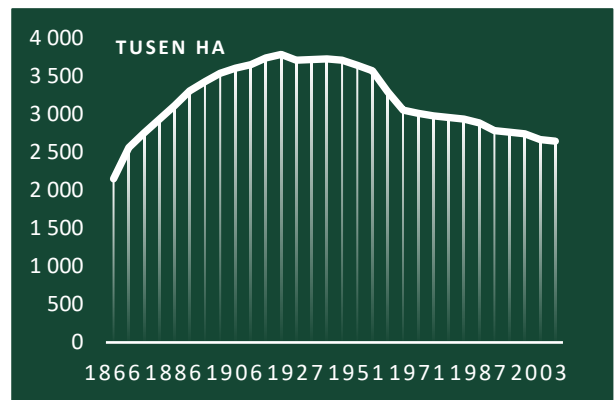
<b>1. Inledning</b> .....	<b>8</b>
1.1. Bakgrund .....	8
1.2. Syfte.....	12
1.3. Hypoteser .....	13
<b>2. Material och metod</b> .....	<b>14</b>
2.1. Experiment .....	14
2.2. Statistiska analyser.....	17
2.3. Felkällor: .....	17
<b>3. Resultat</b> .....	<b>18</b>
3.1. Översiktliga resultat .....	18
3.2. Parvisa jämförelser .....	19
<b>4. Diskussion</b> .....	<b>23</b>
<b>5. Referenser</b> .....	<b>27</b>
<b>6. Tack</b> .....	<b>30</b>

# 1. Inledning

## 1.1. Bakgrund

Växter utgör i många ekosystem grunden för livet i högre trofiska nivåer. De är primärproducenter som förser näringsväven med den energi som ekosystemet kräver för att fortgå. Växters sessila (platsbundna eller stillasittande) levnadssätt medför att de saknar förmågan att rumsligt undkomma abiotiska och biotiska stressfaktorer. Detta innebär att de till en högre grad måste kunna anpassa sig till dessa förhållanden, och att de kan acklimatisera sig lika väl som däggdjur till rådande miljömässiga förutsättningar (van Loon 2016). Inom ett växtsamhälle kan individer som utsätts för stress kommunicera med närliggande individer via signalsubstanser som finns i rotexudat (Elhakeem et al. 2018) eller via luftburna signalsubstanser, så att mottagarna av dessa signaler i förväg kan anpassa sig och förändra sin biologi för att undkomma eller minska framtida stress (Ninkovic et al. 2021). Växt-växt baserade interaktioner är ofta utdragna och pågår ofta under längre tidsperioder, och kan därför ses som mer eller mindre konstanta beroende på olika klimatfaktorer (Putnam & Duke 1978).

Kulturväxternas roll i dagens samhälle är detsamma som den i naturliga ekosystem, nämligen att producera bioenergi som vi människor kan utnyttja, och som vi behöver för att överleva – växternas roll som primärproducenter är därför avgörande för samhället som helhet, samt för naturliga ekosystem. Dagens stråsäd- och spannmålsproduktion står för cirka två tredjedelar av mänsklighetens ätbara torrsubstans och proteinförsörjning (Fogelfors 2015). De höga avkastningsnivåerna som krävs för att producera den mängden spannmål har uppnåtts genom teknologisk utveckling och intensifiering inom jordbruket på både en nationell och



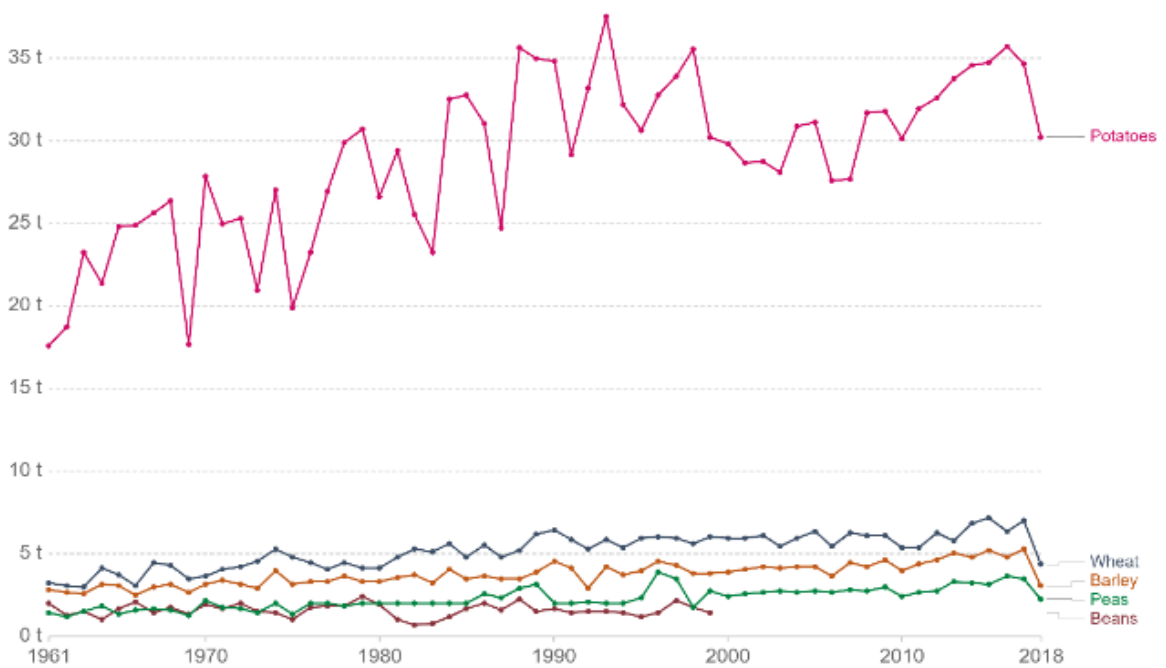
Figur 1 Andelen brukad åkermark (ha) i Sverige mellan årtalen 1866 – 2003, Källa: SCB



global skala. Med intensifiering menas den process som innebär en ökad avkastning per hektar över tid, samtidigt som andelen brukad areal åkermark minskar över tid, se Figur 1, och 2. En stor del av intensifieringen skedde under den period som är känd som den så kallade ”gröna revolutionen” som man anser tog plats under den andra hälften av 1900-talet, under denna period gjordes framsteg inom växtförädling och nya produkter såsom mineralgödsel uppkom (Fogelfors 2015, The Editors of Encyclopaedia Britannica 2020). Dessa två faktorer i tandem kom att mångdubblera skördenivåerna på en global skala, se Figur 2 som visar hur skördenivåerna i Sverige förändrats mellan årtalen 1961 och 2018.

### Crop yields, Sweden, 1961 to 2018

Crop yields are measured in tonnes per hectare.



Source: UN Food and Agricultural Organization (FAO)

OurWorldInData.org/crop-yields • CC BY

Figur 2. Avkastning (ton) över tid av diverse grödor i Sverige mellan årtalen 1961–2018, hämtad ifrån: [Our World In Data](https://ourworldindata.org/crop-yields) [2021-04-06]

Den gröna revolutionens fokus på intensifiering inom jordbruket åsidosatte andra viktiga faktorer som bör finnas i ett välfungerande odlingslandskap, såsom genetisk diversitet, minskad övergödning, minskade utsläpp, etc. Man menar att det för nuvarande pågår en genetisk erosion där viktiga gener som kan bidra till förbättrad klimatompassning hos växter – och speciellt kulturväxter – håller på att försvinna (Govindaraj et al. 2015). Den genetiska erosionen grundas delvis i monokulturer inom odlingslandskap, och försämrade odlingsförhållanden som uppkommer till följd av klimatförändringar. Jordbruksverket menar att bland annat smittotrycket hos skadegörare inom svensk växtproduktion kommer att öka i takt med klimatförändringarna (Jordbruksverket 2021). Ökad förekomst av skadegörare inom agrar växtproduktion kan visa sig bli ett problem för dagens kulturväxter då de har förädlats till höga avkastningsnivåer vid rätt betingelser (Govindaraj et al. 2015). Det är därför viktigt att utveckla nya odlingsmetoder som kan bibehålla eller komplimentera nuvarande skördenivåer för en försäkrad framtida livsmedelsproduktion. Till följd av ovanstående identifierade framtida klimatförändringar och antagandet att trycket på en försäkrad livsmedelsproduktion ökar, har begreppet integrerat växtskydd (IPM) uppkommit. IPM är en ekosystemsbaserad odlingsstrategi som menar att förebyggande åtgärder är de primära åtgärderna som bör vidtas för att minska trycket från skadegörare och för att stärka växtskyddet på fältnivå; exempel på förebyggande åtgärder är bevarande biologisk bekämpning, sortval, och så vidare (Anna Gerdtsson et al. 2019). Detta innebär alltså att direkta bekämpningsåtgärder såsom besprutning ska vara åtgärder som bör användas sparsamt och endast vid behov (Andersson et al. 2015; US EPA 2015). I de globala målen som togs fram av FN i agenda 2030 ingår bland annat mål om en försäkrad framtida livsmedelsproduktion (UNDP i Sverige 2020), som senare i rapporten kommer att diskuteras och relateras till sortblandningar som odlingsmetod.

Aktuella studier inom området för växt-växtbaserad kommunikation fokuserar mycket på den ekologiska effekten som växter kan ha på högre trofiska nivåer, det som då klassas som allelobiotiska interaktioner. Man har kunnat påvisa hur rotexudat påverkade parasiteringen och predationen på insektsherbivorer (Koski et al. 2015; Delory et al. 2016). I mer agrara sammanhang så har man undersökt hur kvävegödsling påverkar produktionen av signalsubstanser hos raps (*Brassica napus*), och hur dessa i senare led påverkar dess närliggande miljö (Veromann et al. 2013). Forskning kring sortblandningar verkar främst omfatta appliceringen av sortblandningar som en del inom IPM, och då både mot patogener och mot ogräs (Newton & Guy 2011; Huang et al. 2012; Oveisi et al. 2021).

I detta arbete studeras möjligheterna med sortblandningar som en odlingsstrategi inom IPM, och om sortblandningar kan påverka odlingen av vårkorn på lång sikt; en sortblandning innebär att frön från två (eller fler) genotyper av samma växt kombineras vid sådd för att bilda en sortblandning. Valet av vårkorn baserades på att vårkorn som gröda är snabbväxande, ekonomisk viktig (Freden 2019), samt att det är mer vanligt att man använder sortblandningar vid sådd av vårkorn i jämförelse med andra sädesslag. Inom agrara sammanhang används sortblandningar främst vid odling av stråsäd, där sjukdomsresistenta sorter ingår i sortblandningen för att späda ut andelen plantor som kan angripas av patogener, och att sortblandningar på så sätt används för att minska smittspridningen av vissa skadegörare på fältnivå. Detta har visat sig vara extra effektivt för att förhindra spridning av mjöldagg och rostsvampar (Fogelfors 2015). Sortblandningar har historiskt sett använts olika mycket i olika länder. I för detta Östtyskland ingick sortblandningar som odlingsmetod i 92% av all odling av korn, i USA har sortblandningar varit populärt främst i Oregon och sydöstra Washington och har använts i upp till 70% av all odling av klubbvete (*Triticum compactum*) (Castro 2001). Andra studier har även påvisat att sortblandningar påverkar herbivormönstret hos bladlöss (Dahlin et al. 2018), samt som en metod för ogräskontroll inom risodlingar (Jareen et al. 2019). Men andra typer av växtbaserade interaktioner kan förekomma som följd av användning utav sortblandningar, två ekologiska konsekvenser som uppstår är kompensering och komplettering (Dahlin et al. 2020). Med kompensering menas den interaktion som resulterar i att de två sorternas egenskaper kompenserar för varderas svagheter, så vid exempelvis torka kan den torktåliga sorten överleva och fortsätta sin utveckling. Fortsättningsvis så innebär komplettering att de två sorterna tillsammans minskar konkurrensen gentemot varandra genom förskjuten utveckling eller tillväxt, som i sin tur resulterar i att de två sorterna inte behöver samma resurser vid samma tidpunkt (Dahlin et al. 2020).

## 1.2. Syfte

Rapporten är menad att utforska både applicering av sortblandningar inom agrara sammanhang, och den underliggande biologiska komplexitet som uppstår inom växtsamhällen där stressfaktorer och signalsubstanser från växter påverkar varandras tillväxt och acklimatisering; en signalsubstans kan kategoriseras som en flyktig organisk substans (VOC – volatile organic compound) som utsöndras av växten för att förmedla information, eller för att påverka biologin hos mottagaren av denna signal (Ninkovic et al. 2019). Ett nytillkommet begrepp som kan förknippas med växt-växt baserad kommunikation är allelobios, som avser en neutral eller positiv interaktion mellan två eller fler organismer där åtminstone en utav dem är en växt, via utsöndrade signalsubstanser. Detta begrepp liknar allelopati, dock avser allelopati en negativ eller neutral interaktion mellan två växter. Interaktionen kan ske via luftburna signaler, eller via signalsubstanser som utsöndras till marklösningen via växters rotsystem. Både allelopati och allelobios är därför ekologiska begrepp som beskriver de interaktionerna som kan förekomma bland växter och andra organismer. Dessa signalsubstanser tillåter växter att identifiera sina närliggande grannar och deras förutsättningar, och tillåter då mottagaren av dessa signalsubstanser att förbereda sig för framtida stressfaktorer såsom exempelvis ökad konkurrens om resurser med andra växter (Ninkovic et al. 2021). Denna typ av interaktioner mellan växter har även visat sig ha en effekt på beteendemönstret hos organismer i högre trofiska nivåer, ett exempel på detta är då nyckelpigor attraheras av signalsubstanser som utsöndras av plantor som skadas av bladlöss (Ninkovic et al. 2021), och en del av frågeställningen som tillkommer av detta är alltså om sortblandningar kan användas för att optimera tillväxt och motståndskraften på fältnivå, och för denna rapport undersöks detta för vårkorn.

### 1.3. Hypoteser

Experimentet som presenteras i denna rapport är utformat på ett sätt som kommer att undersöka betydelsen av vilka vårkornssorter som ingår i en sortblandning och hur detta påverkar morfologin och tillväxten hos mätarsorten Salome. I experimentet undersöks endast interaktioner mellan växter via luftburna signalsubstanser. Utöver Salome ingår även vårkornsorterna Rosalina, Luhkas, och Fairytale i experimentet, och de kommer att ingå i de olika sortkombinationerna. Syftet med experimentet är att undersöka om mottagarsorten Salome kan identifiera och anpassa sitt växtsätt efter luftburna signaler från emitter-sorten i olika sortkombinationer. Hypoteserna för studien är följande:

1. Det kommer att finnas mätbara morfologiska skillnader hos sorterna i de olika behandlingarna
2. Dessa skillnader uppstår på grund av att det sker signalering mellan plantorna i sortkombinationen via luftburna signalsubstanser.

## 2. Material och metod

### 2.1. Experiment

Totalt användes fyra sorter i detta försök: Salome (S), Rosalina (R), Luhkas (L), och Fairytale (FT). Sorternas egenskaper skiljer sig från varandra, vilket ses i Tabell 1. Varje kombination består av en avgivarsort, och en mottagare (mottagaren var alltid S), kontrollkombinationerna var SEO samt SES; SEO är en ren kontrollkombination som inte innehåller en avgivarsort, medan SES består av Salome som både emitter- och mottagarsort; SE(x) förkortningen står för ”Salome exposed to (emitter)”, exempelvis så avläses SEFT som ”Salome exposed to Fairytale”. Varje kombination upprepades tolv gånger, en gång för varje block. Plantorna skördades för mätning vid följande intervaller: 15 dagar efter sådd – den 13:e april 2021, och 35 dagar efter sådd – den 3:e maj 2021. Båda skördarna omfattade totalt 54 plantor vilket blir 27 par per skörd, vilket är hälften av den totala mängden plantor. Laborationen i denna rapport är en repetition av en större serie av likadana experiment, denna rapport omfattar omgång tre i denna serie. Varje omgång bestod av tolv rumsligt slumpade block, där varje block innehöll fem unika sortkombinationer (behandlingar), dessa kombinationer kan ses i Tabell 1.

<b>Sortkombinationer och sortegenskaper</b>
SEO – Salome exposed to nothing
SES – Salome exposed to Salome. Salome är en vårkornssort med tidig mognad och med en hög avkastningspotential med ett kort strå. (Karlsson 2012)
SEFT – Salome exposed to Fairytale. Fairytale har en medeltidig mognad, ett medellångt strå, och en hög avkastningspotential. (Karlsson 2012)
SEL – Salome exposed to Luhkas. Luhkas är en sort med tidig mognad och en hög avkastningspotential med ett medellångt strå. (Karlsson 2012)
SER – Salome exposed to Rosalina. Rosalina har en tidig mognad och ett medellångt strå. (Karlsson 2012)

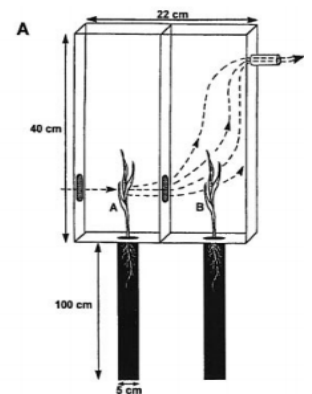
*Tabell 1 Aktuella vårkornssorter som ingår i de olika sortkombinationerna som ingick i försöket, Salome är mottagarsorten som i alla kombinationer utsätts för signalsubstanser ifrån avgivarsorten. Sorterna inhandlades ifrån Scandinavian Seed AB.*

Experimentet utfördes i en laborationslokal på institutionen för ekologi på SLU Uppsalas campus. Laborationslokalen var belägen på institutionens källarvåning, detta för att förhindra att omvärldsfaktorer såsom exempelvis antalet soltimmar, och temperaturskiftningar skulle kunna påverka plantornas tillväxt, och i senare led även resultatet. I lokalen installerades fyra bord, växtbelysning, samt ett dränerings- och bevattningssystem, se Figur 3. I varje bord sågades det totalt 30 hål med 15 hål i varje rad, och i varje hål häftades en 75 cm lång sandfylld polyetylen-plastpåse fast med hjälp av en häftpistol. Sandpåsen var perforerad med flertalet 1 mm i diameter stora hål samt två hål som var 5 mm i diameter, detta för att överflödigt vatten fritt skulle kunna avrinna från plastpåsen ned till dräneringssystemet som fanns under borden, samt för ökat syreutbyte. Sanden som användes tvättades och steriliserades innan användning. Vid plastpåsens mynning på bordsytan fästes en bevattningsslang som var ansluten till lokalens bevattningssystem; den vattentank som användes hade en total volym på 800 liter. Växtbelysningssystemet utgjordes av LED lampor från Philips Horticulture LED Solutions, växtbelysningen var påslagen mellan 06.00 och 22.00. Färgbalansen i belysningen var: 28% blått, 38% grönt, 34% rött, och 5% infrarött, totalt producerades 90  $\mu\text{m/s}$  fotosyntetiskt aktivt ljus per lampa.



Figur 3. Laborationslokal på institutionen för ekologi SLU Uppsala [2021-03-29]

Varje frö steriliserades även i förväg, innan dess att försöket startades, för att förebygga eventuell kontaminering under försökets gång. Alla frön förkultiverades sedan i petriskålar mellan två filterpapper. Petriskålarna placerades i ett klimatkontrollerat rum där temperaturen var inställd på 16-18°C med en 70% relativ luftfuktighet i 48 timmar. Alla frön planterades sedan den 29:e mars i sina respektive sortkombinationer, det vill säga att i exempelvis sortkombinationen SEFT så planterades ett frö utav Salome och ett frö utav Fairytale för att bilda sortkombinationen. Ovanpå varje sortkombination placerades det en plexiglasbur som bestod av två olika kammare, se Figur 4 (Ninkovic 2003). De var konstruerade på ett sätt som tillät att luftmassor (som innehöll flyktiga signalsubstanser) från den ena kammaren där avgivarsorten befann sig fritt kunde flöda till den andra kammaren där luftmassan passerade förbi mottagarsorten Salome. Luften ventilerades sedan med hjälp av en luftpump. Glasburarna konstruerades inför första försöket inom denna försöksserie, så de var alltså återanvända från tidigare försök.



Figur 4. Schematisk avbildning av de två-kamrade plexiglasburar som ingick i studien (Ninkovic 2003)

Den första skörden påbörjades genom att först avlägsna de sandfyllda påsarna från odlingsborden. Efter detta sönderdelades och sorterades varje planta enligt följande protokoll:

- I. Rotsystemet avlägsnades och tvättades för att ta bort sand som fastnat i växtens rotsystem. Det avlägsnade rotsystemet placerades sedan i en märkt plastflaska som innehöll tillräckligt med tioprocentig alkohol för att rötterna skulle vara helt nedsänkta under ytan.
- II. Stjälken med blad mättes sedan för hand, längden noterades i en anteckningsbok.
- III. Efter mätningen avlägsnades bladen vid bladbasen. Bladen bokpressades sedan, i varje bok fanns det sidintervall för varje sortkombination.
- IV. Efter det att bladen avlägsnats mättes stjälken igen fast utan blad denna gång, längden noterades återigen i en anteckningsbok. Stjälken placerades sedan i en märkt aluminiumpåse.

Efter att sorteringen var färdig placerades aluminiumpåsar som innehöll stjälkar i en varmluftsugn som var inställd på 70°C i 48 timmar.

De pressade bladen som bokpressats i 24 timmar skannades med hjälp av en Epson Perfection V850 Pro skanner och datorprogrammet WinRHIZO (från Regent Instruments), upplösningen var inställd på 300 DPI för. Efter det att inskanningen av bladen avslutats placerades bladen från varje enskild planta i en enskild aluminiumpåse, och flyttades sedan till samma varmluftsugn som stjälkarna för att sedan torkas i 48 timmar i 70°C. Inskanningen av rotsystemen påbörjades efter det att skanningen av bladen avslutats och gjordes med samma utrustning, inställningen för upplösningen ändrades dock från 300 till 400 DPI, utöver bladytan mättes även längden hos rötterna med hjälp av denna skanner. Därefter vägdes rotsystemen, bladen, och stjälkarna efter det att de torkats i 70°C i 48 timmar. Massan noterades och fördes sedan in i ett Microsoft Excel dokument.

Den andra skörden utfördes på samma sätt som skörd ett, det vill säga att det protokoll som användes vid skörd ett även är aktuellt för skörd två. Till analysen av rotsystemen och bladen användes samma redskap, och metoden för analys av rötterna, stjälkarna, och bladen var densamma som för skörd ett.



## 2.2. Statistiska analyser

Data som samlades in från båda skördarna analyserades med hjälp av programmet Statistica som utvecklats av Statsoft (Kalifornien, USA), först med hjälp av en envägs ANOVA analys där alla medelvärden för de undersökta mätparametrarna testades för ett 95 procents säkerhetsintervall. De värden som var signifikanta analyserades sedan via ett post hoc-test för att se vilket medelvärde som skiljer sig från variansanalysen. Efter det att den statistiska analysen utförts visade det sig att det fanns datapunkter från den första skörden (15 dagar efter sådd) som ej var signifikanta, därför kommer de resultaten inte att presenteras. Detta grundar sig delvis i att det fanns för få repetitioner av vissa sortkombinationer, och om det fanns mer tid och resurser så skulle det nog vara aktuellt att upprepa samma experiment minst en gång till för att få mer representativa resultat. För den andra skörden (35 dagar efter sådd) fanns det datapunkter inom både mottagar- och avgivarsorterna som inte var signifikanta men som kommer att presenteras ändå. Detta då det fanns signifikanta skillnader mellan emitter- och mottagarbehandlingarna.

## 2.3. Felkällor:

Det var första gången som detta experiment utfördes i denna lokal, med detta tillkom ny belysning, och ett nytt bevattningssystem. Till följd av detta utsattes två plantor (SES 13 & SEO 13) för torka, vilket påverkade all data som insamlades från dessa plantor. Även vid inskanningen av blad skedde det ett misstag då en fil som tillhörde SER 15 inte kunde återfinnas, vilket innebär att just den datapunkten inte ingår i resultatet.

## 3. Resultat

### 3.1. Översiktliga resultat

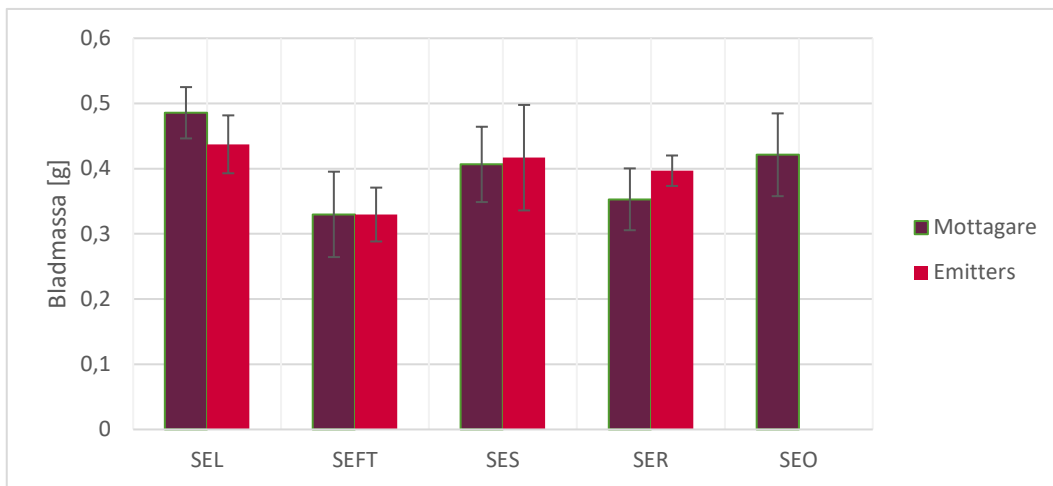
Resultaten tydde på att mottagarsorten Salome kunde identifiera och anpassa sig efter avgivarsorten som ingår i sortkombinationen. Då varje individuell avgivarsort har olika tillväxtmönster, och egenskaper upplever mottagarsorten Salome konkurrensen olika beroende på vilken sort som ingår i sortkombinationen. I de figurer som presenteras under denna rubrik är det alltså intressant att se om värdena från avgivarsorterna i viss mån avspeglas i värdena från mottagarsorten Salome – eftersom detta skulle tyda på att Salome har identifierat den andra sorten i sortkombinationen via luftburna signalsubstanser.

Bland avgivarsorterna hade Luhkas högst totalväxtmassa samt bladmassa vilket är förväntat då det är den mest konkurrenskraftiga sorten som ingick i detta experiment. Det fanns inga större skillnader mellan de olika värdena för Fairytale och Rosalina, Fairytale hade genomgående lägst värden förutom för rotmassa och total växtmassa – och Rosalina låg i snitt lite ovanför Fairytale. Rotlängden hos Salome som mottagare varierade i respons på konkurrensförmågan hos avgivarsorterna, det vill säga att det finns en korrelation mellan avgivarsortens egenskaper och tillväxtsättet som ses hos mottagaren. Förändrade tillväxtmönster ses även i andra parametrar hos mätsorten Salome.

## 3.2. Parvisa jämförelser

### Bladmassa

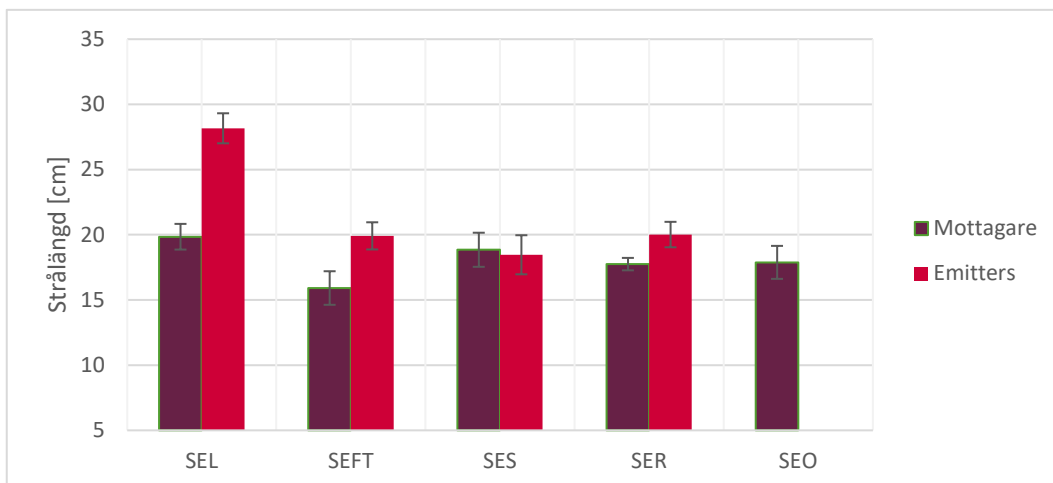
Inga signifikanta skillnader i bladmassa erhöles mellan Salome (mottagarsort) och avgivarsorten i någon utav sortkombinationerna, se Figur 5.



Figur 5. Bladmassa (g) 35 dagar efter sådd för de ingående emitter- och mottagarsorterna; det vill säga för Salome som mottagare och för avgivarsorterna S, Ft, L, & R. Staplarna i diagrammet representerar standardfel för avgivarsorterna och mottagarsorten. Inga värden var signifikanta ( $p < 0.05$ ) inom mottagar-, eller avgivarsorterna.

### Strålängd

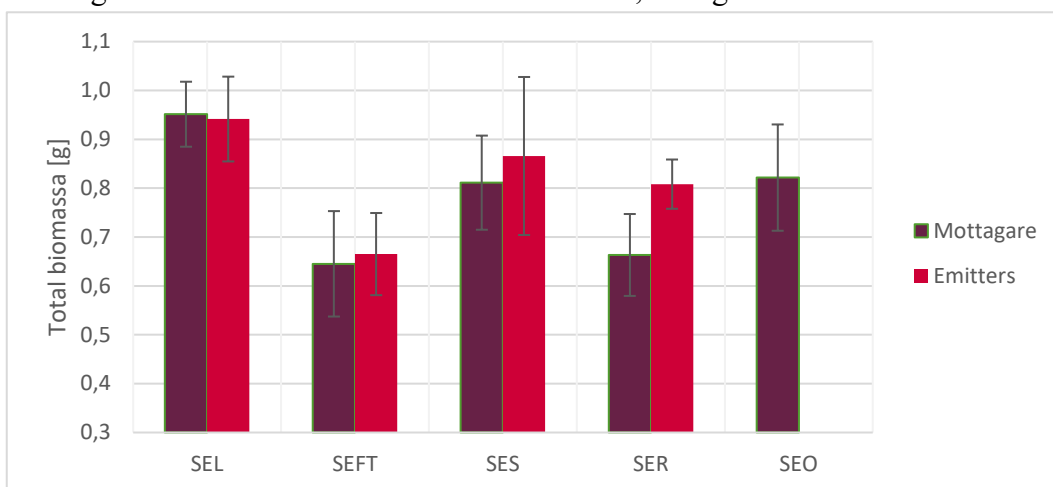
Signifikanta skillnader i strålängd erhöles mellan Salome och Luhkas respektive Salome och fairytale där Salome hade en kortare strålängd än avgivarsorterna, se Figur 6. Inga skillnader i strålängd erhöles mellan mottagare och avgivare i övriga sortkombinationer.



Figur 6. Strållängden (cm) 35 dagar efter sådd för de ingående emitter- och mottagarsorterna; det vill säga för Salome som mottagare och för avgivarsorterna S, Ft, L, & R. Staplarna i diagrammet representerar standardfel för avgivarsorterna och mottagarsorten. Bland mottagarsorterna var värdena för SEL, och SEFT signifikanta ( $p < 0.05$ ), samt alla emittervärden.

### Total biomassa

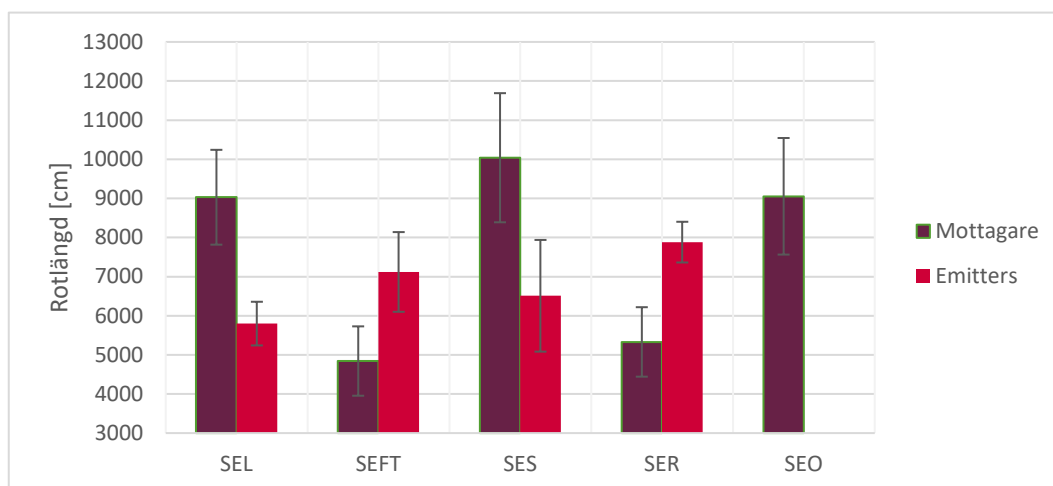
Inga signifikanta skillnader i total biomassa erhöles mellan mottagarsorten Salome och avgivarsorten i de olika sortkombinationerna, se Figur 7.



Figur 7. Total biomassa [g] 35 dagar efter sådd för de ingående emitter- och mottagarsorterna; det vill säga för Salome som mottagare och för avgivarsorterna S, Ft, L, & R. Staplarna i diagrammet representerar standardfel för avgivarsorterna och mottagarsorten. Bland mottagarsorterna var SEFT, SEL, och SER signifikanta ( $p < 0.05$ ).

### Rotlängd

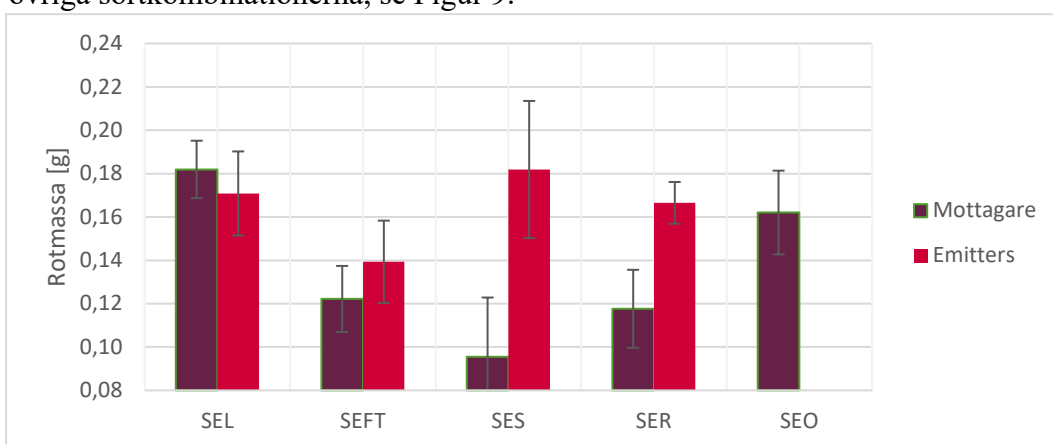
Signifikanta skillnader i rotlängd erhöles mellan mottagarsorten Salome och avgivarsorten i de olika sortkombinationerna, se Figur 8. Salome hade signifikant längre rotlängd än Luhkas respektive Salome, och signifikant kortare rotlängd än Fairytale respektive Rosalina.



Figur 8. Rotlängd (cm) 35 dagar efter sådd för de ingående emitter- och mottagarsorterna; det vill säga för Salome som mottagare och för avgivarsorterna S, Ft, L, & R. Staplarna i diagrammet representerar standardfel för avgivarsorterna och mottagarsorten. Alla värden för mottagarna var signifikanta ( $p < 0.05$ ).

### Rotmassa

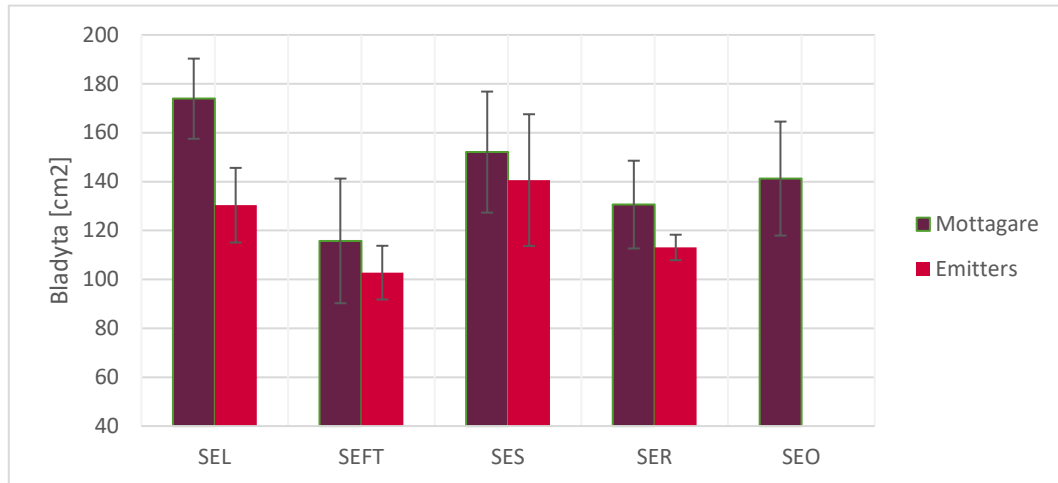
Signifikanta skillnader i rotmassa erhöles mellan mottagarsorten Salome och avgivarsorterna Salome respektive Rosalina där Salome hade signifikant lägre rotmassa jämfört med avgivarsorterna. Inga signifikanta skillnader hittades i de övriga sortkombinationerna, se Figur 9.



Figur 9. Rotmassa (g) 35 dagar efter sådd för de ingående emitter- och mottagarsorterna; det vill säga för Salome som mottagare och för avgivarsorterna S, Ft, L, & R. Staplarna i diagrammet representerar standardfel för avgivarsorterna och mottagarsorten. Alla värden för mottagarna var signifikanta ( $p < 0.05$ ).

### Bladyta

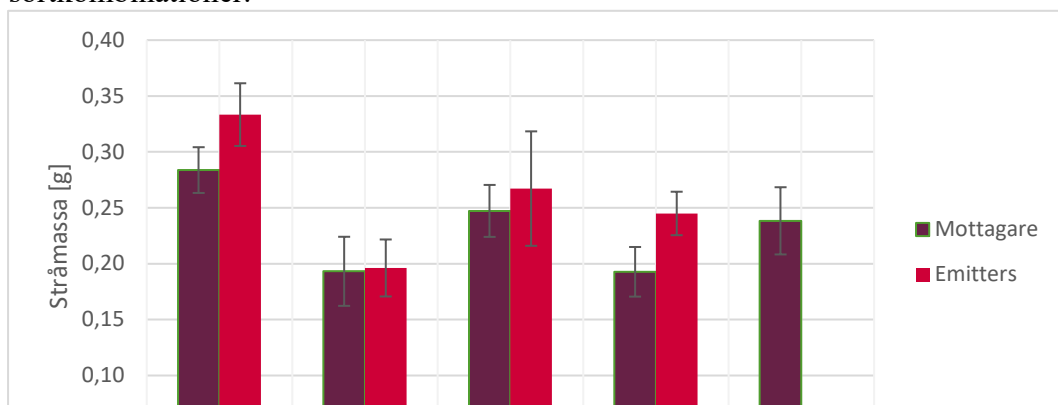
Signifikanta skillnader i bladyta erhöles mellan mottagarsorten Salome och avgivarsorten Luhkas där Salome hade en större bladyta jämfört med Luhkas. Inga signifikanta skillnader hittades i de övriga sortkombinationerna, se Figur 10.



Figur 10. Bladyta (cm<sup>2</sup>) 35 dagar efter sådd för de ingående emitter- och mottagarsorterna; det vill säga för Salome som mottagare och för avgivarsorterna S, Ft, L, & R. Skillnaden i bladytan har uppstått då avgivarsorten interagerat med mottagarsorten via luftburna signalsubstanser. Staplarna i diagrammet representerar standardfel för emitter- och mottagarsorterna. Inga värden var signifikanta ( $p < 0.05$ ) inom mottagar-, eller avgivarsorterna.

### Stråmassa

Signifikanta skillnader i stråmassa erhöles mellan Salome och Luhkas respektive Salome och Fairytale där Salome hade en mindre stråmassa än avgivarsorterna, se Figur 11. Inga skillnader i stråmassa erhöles mellan mottagare och avgivare i övriga sortkombinationer.



Figur 11. Stråmassa (g) 35 dagar efter sådd för de ingående emitter- och mottagarsorterna; det vill säga för Salome som mottagare och för avgivarsorterna S, Ft, L, & R. Staplarna i diagrammet representerar standardfel för avgivarsorterna och mottagarsorten. Bland avgivarsorterna var värdena för L och FT signifikanta ( $p < 0.05$ ), och bland mottagarsorterna var SEFT, SEL, och SER signifikanta ( $p < 0.05$ ).

## 4. Diskussion

I relation till försöket och de resultat som erhållits så visar det sig att odling av Salome i renbestånd kan ses som ineffektivt då Salome som mottagare i SES kombinationen hade det längsta rotsystemet, och att rotsystemet samtidigt hade lägst massa. Det som förmodligen skett i försöket är att då Salome växer med Salome så blir det en högre konkurrens om resurser eftersom utvecklingshastigheten är densamma. När Salome sedan känner av denna inkommande konkurrens via de utsöndrade luftburna signalsubstanserna så förbereder sig plantan genom att producera ett ökat antal finrötter, som då underlättar med närings- och vattenhushållning under goda betingelser, men ett grunt rotsystem under torra skulle leda till torkstress. Problem uppstår då rotsystemet även ska försöka stötta plantan, vilket ett grunt rotsystem av finrötter inte riktigt lyckas med. I kontrast med detta så hade mottagarsorten i SEL kombinationen högst värde för rotlängd, rotmassa, total biomassa, bladyta, och bladmassa, vilket tyder på en mer jämn fördelning av både ovan- och underjordiska växtdelar; Salome är dock en sort med högt bladyteindex (Dahlin 2019), men SEL kombinationen hade ändå högst värde jämförelsevis med de andra kombinationerna. Den anpassningen som skett från Salomes sida grundar sig nog därför i en kompletterings-relaterad anpassning, där Salome identifierade Luhkas robusta och snabba tillväxtsätt och lyckades sedan att anpassa sitt eget tillväxtsätt och sin resursanvändning så att de två sorterna kompletterade varandras tillväxtsätt – det är även intressant att nämna att ovanjordiska interaktioner kan ge underjordisk respons. Den anpassning som ses hos Salome inom SEFT och SER kombinationerna är att stråmassan, rotmassan, rotlängden, den totala biomassan, och bladmassan minskat då varje respektive mätparameter jämförs med samma värden från SEO kombinationen. Slutsatsen för SEFT och SER kombinationerna blir då att Rosalina och Fairytale har en negativ inverkan på Salomes tillväxt inom de första 35 dagarna efter sådd. Gemensamt för alla sorter var dock att Salome lyckades identifiera och tydligt anpassa sin tillväxt inom följande kategorier: bladyta, stråmassa, total biomassa, och bladmassa (figur 5, 7, 10, 11).

Från en ekologisk och växtfysiologisk synpunkt så kan växter påverka varandras morfologi genom kommunikation via utsöndrade signalsubstanser (Elhakeem et al. 2018). En viktig orsak som ger upphov till växt-växt baserad kommunikation är mekanisk stimulans som uppstår då blad, och andra växtdelar från två olika plantor fysiskt kommer i kontakt med varandra. Signaler som utsöndras till följd av denna interaktion kan sedan användas av andra plantor för att identifiera andra närliggande plantor och deras respektive förutsättningar (Elhakeem et al. 2018). Mekanisk stimulans ovan mark kan uttryckas av växter under marken i form av olika rotexudat. Växt-växt baserad kommunikation är alltså inte begränsad till luftburna signalsubstanser. Växters förmåga att identifiera och anpassa sig efter sina grannar via de signalsubstanser som de utsöndrar korrelerar därför till den egna plantans fitness och dess förmåga att överleva och producera avkomor.

Tidigare studier inom området gällande sortblandningar har visat att det finns många olika potentiella användningsområden för sortblandningar. En studie fann att en specifik sortkombination – Salome + Fairytale, minskade acceptansen av bladlöss hos båda sorterna med 31% för Salome, och 22% för Fairytale (Dahlin et al. 2018). Denna studie gjordes både i en laboratoriemiljö, och i en fältmiljö, och resultaten återspeglades i båda försöken, vilket då tyder på att det eventuellt skulle kunna vara en blandning som kan användas inom agrara sammanhang där bladlöss kan orsaka stora skördeföruster (Dahlin et al. 2018). Den bakomliggande mekanismen som gav upphov till den minskade acceptansen av bladlöss hos plantorna attribuerades till inducerad resistens som i sin tur uppkom då växterna kommunicerade med varandra med hjälp av signalsubstanser (Dahlin et al. 2018), denna studie är då alltså även ett exempel på en allelobiotisk interaktion mellan två sorter. Sorterna som ingår i detta experiment förekommer även i andra studier, man har sedan tidigare sett att: Salome + Rosalina gav förbättrat kväveupptag och vegetativ biomassa, Salome + Fairytale gav en ökad kärnmassa, och Salome + Luhkas hade en period med ökad tillväxt vid dagarna 40-52 dagar efter sådd (Dahlin et al. 2020). En gemensam trend för alla sortkombinationer i samma rapport var att tillväxtmönstret hos sortkombinationerna förändrades, då man observerade att tillväxten var långsammare tidigt in på säsongen i jämförelse med odling i renbestånd. Trots detta var skörden något större hos sortblandningarna än den hos plantorna som odlades i renbestånd (Dahlin et al. 2020). Detta har förknippats med en förskjutning inom utvecklingen, och att då växterna utvecklas långsammare i sortblandningarna så kan de allokera mer resurser till utvecklingen av blad- eller blomprimordier, som i sin tur ger upphov till den ökade skörden i slutet på säsongen (Dahlin et al. 2020). Denna typ av anpassning inom växter som ingår i en sortblandning stämmer väl överens med det som setts i det experiment som utförts i samband med denna rapport, och tyder då alltså på att det är av vikt att utforska vilka sorter som ingår i en sortblandning och att olika kombinationer kan uppnå



olika mål beroende på vad man vill att sortblandningen ska uppnå. Vilket ses i resultaten som presenterades tidigare, då de indikerar att sortkombinationen SEL ger ökad total växtmassa i jämförelse med Salome som odlas i renbestånd (SES).

Sortblandningar är en odlingsmetod som är svår att effektivt applicera inom kommersiella odlingsystem, det är i nuläget både komplicerat och tidskrävande att hitta gynnsamma sortkombinationer, och risken att råka kombinera sorter som ger oönskade konsekvenser för odlingen finns (Dahlin et al. 2020). Det tillkommer även nya sorter konstant, vars egenskaper behöver undersökas för att man på ett säkert sätt ska kunna säkerställa om de bör ingå i en sortblandning. För att upptäcka och undersöka nya gynnsamma sortkombinationer behövs det därför hittas nya metoder som är snabbare och mer tidseffektiva än det laborativa arbete som utförts i samband med denna studie.

Framtidens odlingsförutsättningar grundar sig i kommande klimatförändringar, scenarion som antas förverkligas är bland annat ökande medeltemperaturer, mer extremväder, och ökat tryck från skadegörare (Högberg et al. 2018). Med detta i åtanke så uppstår det en konflikt mellan dagens växtproduktion och de förändringar som kommer krävas för att säkra samma typ utav produktion, och det kan även skapas negativa feedback loops inom livsmedelsproduktionen då mer klimatpåverkande åtgärder kan behöva tas till handa om klimatförändringarna orsakar alldeles för stora skördeförluster; dessa åtgärder skulle då exempelvis kunna vara omställning av gräsmarker till odlingsmark, ökad användning av miljöfarliga bekämpningsmedel, etc, detta skulle då alltså i sin tur skapa en negativ cykel mellan odlingsåtgärder och de pågående klimatförändringarna. Homogena odlingslandskap har redan visat sig vara problematiska från både en ekologisk-, och en produktionssynvinkel då de ökar risken för stora växtbaserade epidemier inom odlingen, och som i sin tur sätter stopp för en fungerande livsmedelskedja och minskar då tillgången på livsmedel (Govindaraj et al. 2015; The American Phytopathological Society 2021). För att motverka växtbaserade epidemier så representerar sortblandningar en del av lösningen, genom att man blandar sorter som är resistenta mot diverse patogener så kan man begränsa spridningen inom ett fält - det vill säga att det sker en utspädningseffekt, då med avseende på antalet plantor som kan bli infekterade.

För att motivera sortblandningars potential inom integrerat växtskydd så relateras de användningsområden för sortblandningar som hittills diskuterats till ett par av de globala målen<sup>1</sup> som finns med i FN:s utvecklingsprogram. Mål två karaktäriseras av en försäkrad och ökad livsmedelsproduktion och minskad hunger på en global skala, och sortblandningar som odlingsmetod skulle kunna knyta an till mål två genom att säkra odlingar av höstveten från extremväder som exempelvis torka (Wang et al. 2016), ökad avkastning och förändrade utvecklingsmönster (Dahlin et al. 2020), och genom ett minskat skadetryck från skadegörare såsom bladlöss (Ninkovic et al. 2002; Dahlin et al. 2018). När det kommer till mål sex som berör vattenkvalitet och hur vattnet används, så är det viktigt att först nämna att jordbrukssektorn använder 70% av allt tillgängligt vatten (Earthscan 2011), och som togs upp vid mål tre så kan sortblandningar vid odling av höstveten öka vetets torktålighet och dess ”water use efficiency” (torktåligheten) (Wang et al. 2016) – och man kan på så sätt minska mängden vatten som krävs för ett fungerande lantbruk. När det kommer till vattenkvalitet så har studier visat att vissa kornsorter som ingår i sortblandningar har en förbättrad förmåga att ta upp och använda kväve (Dahlin et al. 2020). Ökad effektivitet hos växter vid upptag och användning av kväve skulle även innebära att man som lantbrukare behöver spendera mindre tid och resurser på att bland annat gödsla ens fält, och man kan på så sätt minska andelen kväve som läcker ut till närliggande vattendrag, som i sin tur minskar övergödningen av vattenbaserade ekosystem. Förbättrad vattenkvalitet och mer rättvis förvaltning, samt samhällelig fördelning av vattenrelaterade resurser skulle då alltså vara en indirekt konsekvens som tillkommer då sortblandningar används.

För framtida studier skulle det vara intressant att se hur den genetiska sammansättningen hos både avgivarsorterna och mottagarsorten förändras när de utsätts för signalsubstanser från andra växter. Vilka gener som uppregleras och vilka delar av genomet som metyliseras, det vill säga vilka delar av växtens genom som tystas och vilka som uttrycks efter exponering av luftburna signalsubstanser från en annan sort. Det skulle alltså vara intressant att undersöka och studera hur allelopati och allelobios hänger ihop med epigenetiska förändringar.

---

<sup>1</sup> <https://www.globalamalen.se/>

## 5. Referenser

- Andersson, L., Vimarlund, L., Andersson, G. & Arvidsson, A. (2015). *Skadegörare i jordbruksgrödor*. Jönköping: Jordbruksverket.
- Anna Gerdtsen, Johansson, C., Hjelm, E., Mellqvist, E., Johnson, F., Andersson, G., Henriksson, J., Norrlund, L., Johansson, L., Widén, P. & Andersson, R. (2019). Att förebygga växtskyddsproblem - en viktig del i integrerat växtskydd (IPM). Jordbruksverket. [2021-07-01]
- Castro, A. (2001). Cultivar Mixtures. The Plant Health Instructor. DOI: 10.1094/PHI-A-2001-1230-01. Tillgänglig: <https://www.apsnet.org/edcenter/disimpactmngmnt/topc/cultivarmixes/Pages/default.aspx> [2021-06-14].
- Dahlin, I. (2019). *Volatile mediated plant-plant communication in cultivar mixtures*. [Doktorsavhandling]. <https://pub.epsilon.slu.se/16123/> [2021-05-31]
- Dahlin, I., Kiær, L.P., Bergkvist, G., Weih, M. & Ninkovic, V. (2020). Plasticity of barley in response to plant neighbors in cultivar mixtures. *Plant and Soil*, 447 (1), 537–551. <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04406-1>
- Dahlin, I., Rubene, D., Glinwood, R. & Ninkovic, V. (2018). Pest suppression in cultivar mixtures is influenced by neighbor-specific plant-plant communication. *Ecological Applications*, 28 (8), 2187–2196. <https://doi.org/10.1002/eap.1807>
- Delory, B.M., Delaplace, P., Fauconnier, M.-L. & du Jardin, P. (2016). Root-emitted volatile organic compounds: can they mediate belowground plant-plant interactions? *Plant and Soil*, 402 (1), 1–26. <https://doi.org/10.1007/s11104-016-2823-3>
- Earthscan (red.) (2011). *The state of the world's land and water resources for food and agriculture: managing systems at risk*. 1st ed. Milton Park, Abingdon ; New York, NY: Earthscan.
- Elhakeem, A., Markovic, D., Broberg, A., Anten, N.P.R. & Ninkovic, V. (2018). Aboveground mechanical stimuli affect belowground plant-plant communication. *PLOS ONE*, 13 (5), e0195646. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195646>
- Fogelfors, H. (2015). *Vår mat: odling av åker- och trädgårdsgrödor: biologi, förutsättningar och historia*. Lund: Studentlitteratur.
- Freden, J. (2019). *Här är grödorna som odlas mest i Sverige | Landlantbruk.se*. *Land Lantbruk*. <https://www.landlantbruk.se/landbruk/har-ar-grodorna-som-odlas-mest-i-sverige/> [2021-06-14]
- Govindaraj, M., Vetriventhan, M. & Srinivasan, M. (2015). Importance of Genetic Diversity Assessment in Crop Plants and Its Recent Advances: An Overview of Its Analytical Perspectives. *Genetics Research International*, 2015, e431487. <https://doi.org/10.1155/2015/431487>
- Huang, C., Sun, Z., Wang, H., Luo, Y. & Ma, Z. (2012). Effects of wheat cultivar mixtures on stripe rust: A meta-analysis on field trials. *Crop Protection*, 33, 52–58. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2011.11.020>

- Högberg, A., Tubbin, A., Engqvist, J. & Urdl, M. (2018). Livsmedelsproduktionen i Sverige 2035 – En framtidsanalys. Sektorsgemensam omvärldsanalys: pilotrapport. Livsmedelsverket. Tillgänglig: <https://www.livsmedelsverket.se/globalassets/publikationsdatabas/rapporter/2018/2018-livsmedelsproduktionen-i-sverige-2035.pdf>. [2021-04-19]
- Jareen, B., Anwar, M., Yeasmin, S., Islam, A.K.M.M., Rashid, Md.H., Sultana, M. & Juraimi, A. (2019). Evaluation of the cultivar mixture strategy as a sustainable tool for managing weeds and enhancing rice yield. *Big Data In Agriculture*, 1, 1–9. <https://doi.org/10.26480/bda.02.2019.01.09>
- Jordbruksverket. (2021). Jordbruket och klimatet. Tillgänglig: <https://jordbruksverket.se/jordbruket-miljon-och-klimatet/jordbruket-och-klimatet> [2021-04-07]
- Karlsson, J. (2012). Sorter och odlingsteknik - Vårkorn. Sverigeförsöken 2012. Tillgänglig [https://www.ffe.slu.se/Webdata/\\$serie/07F5R2012Vaarkorn.pdf](https://www.ffe.slu.se/Webdata/$serie/07F5R2012Vaarkorn.pdf) [2021-04-19]
- Koski, T.-M., Laaksonen, T., Mäntylä, E., Ruuskanen, S., Li, T., Girón-Calva, P.S., Huttunen, L., Blande, J.D., Holopainen, J.K. & Klemola, T. (2015). Do Insectivorous Birds use Volatile Organic Compounds from Plants as Olfactory Foraging Cues? Three Experimental Tests. *Ethology*, 121 (12), 1131–1144. <https://doi.org/10.1111/eth.12426>
- Van Loon, L.C. (2016). The Intelligent Behavior of Plants. *Trends in Plant Science*, 21 (4), 286–294. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2015.11.009>
- Newton, A.C. & Guy, D.C. (2011). Scale and spatial structure effects on the outcome of barley cultivar mixture trials for disease control. *Field Crops Research*, 123 (2), 74–79. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.05.002>
- Ninkovic, V. (2003). Volatile communication between barley plants affects biomass allocation. *Journal of Experimental Botany*, 54 (389), 1931–1939. <https://doi.org/10.1093/jxb/erg192>
- Ninkovic, V., Markovic, D. & Rensing, M. (2021). Plant volatiles as cues and signals in plant communication. *Plant, Cell & Environment*, 44 (4), 1030–1043. <https://doi.org/10.1111/pce.13910>
- Ninkovic, V., Olsson, U. & Pettersson, J. (2002). Mixing barley cultivars affects aphid host plant acceptance in field experiments. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 102 (2), 177–182. <https://doi.org/10.1046/j.1570-7458.2002.00937.x>
- Ninkovic, V., Rensing, M., Dahlin, I. & Markovic, D. (2019). Who is my neighbor? Volatile cues in plant interactions. *Plant Signaling & Behavior*, 14 (9), 1634993. <https://doi.org/10.1080/15592324.2019.1634993>
- Oveisi, M., Kaleibar, B.P., Mashhadi, H.R., Müller-Schärer, H., Bagheri, A., Amani, M., Elahinejad, M. & Masoumi, D. (2021). Bean cultivar mixture allows reduced herbicide dose while maintaining high yield: A step towards more eco-friendly weed management. *European Journal of Agronomy*, 122, 126173. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126173>
- Putnam, A.R. & Duke, W.B. (1978). Allelopathy in Agroecosystems. *Annual Review of Phytopathology*, 16 (1), 431–451. <https://doi.org/10.1146/annurev.py.16.090178.002243>
- The American Phytopathological Society (APS). (2021). History: Classroom Activities in Plant Biotechnology. Tillgänglig: <https://www.apsnet.org/edcenter/disimpactmngmnt/labexercises/PlantBiotechnology/Pages/History.aspx> [2021-04-19]
- The Editors of Encyclopaedia Britannica. (2020). Green revolution. Tillgänglig: <https://www.britannica.com/event/green-revolution>. [2021-06-19]

- UNDP i Sverige. (2020). Om globala målen. Tillgänglig: <https://www.globalamalen.se/om-globala-malen/> [2021-06-14]
- US EPA. (2015). Integrated Pest Management (IPM) Principles. Tillgänglig: <https://www.epa.gov/safepestcontrol/integrated-pest-management-ipm-principles> [2021-04-15]
- Veromann, E., Toome, M., Kännaste, A., Kaasik, R., Copolovici, L., Flink, J., Kovács, G., Narits, L., Luik, A. & Niinemets, Ü. (2013). Effects of nitrogen fertilization on insect pests, their parasitoids, plant diseases and volatile organic compounds in *Brassica napus*. *Crop Protection*, 43, 79–88. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2012.09.001>
- Wang, Y., Zhang, Y., Ji, W., Yu, P., Wang, B., Li, J., Han, M., Xu, X. & Wang, Z. (2016). Cultivar Mixture Cropping Increased Water Use Efficiency in Winter Wheat under Limited Irrigation Conditions. *PLOS ONE*, 11 (6), e0158439. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0158439>

## 6. Tack

Avslutningsvis så vill jag tacka Velemir Ninkovic, Dimitrije Markovic, Maria Hedsén, Emmanuel Hiltcher, och min familj för det stöd som jag fått under skrivningsprocessen. Saker och ting har inte alltid varit lätt, men jag uppskattar den hjälp jag fått från alla håll och kanter. Jag hoppas och tror att jag har vuxit som person under det här projektets gång, och om intet annat har jag fått träffa många nya människor.

Tack!