

Undersökning av flyktiga organiska ämnens påverkan på allokeringen av biomassa vid samodling av majs (*Zea mays*) och bönor (*Phaseolus vulgaris*)

Study on volatile organic compounds on the allocation of biomass in intercropping of maize (*Zea mays*) and bean (*Phaseolus vulgaris*)

Tobias Neselius



Agronomprogrammet - Mark/Växt
Examensarbete 30 hp
Uppsala 2012

Självständigt arbete/Examensarbete / SLU, Institutionen för ekologi 2012:22

Undersökning av flyktiga organiska ämnens påverkan på allokeringen av biomassa vid samodling av majs (*Zea mays*) och bönor (*Phaseolus vulgaris*)

Study on volatile organic compounds on the allocation of biomass in intercropping of maize (*Zea mays*) and bean (*Phaseolus vulgaris*)

Tobias Neselius

Handledare: Velemir Ninkovic, SLU Uppsala, Ekologi.

Examinator: Lars Andersson, SLU Uppsala, Växtproduktionsekologi.

Omfattning: 30 hp

Nivå och fördjupning: A1E

Kurstitel: Självständigt arbete i Biologi - Magisterarbete

Kurskod: EX0564

Program/utbildning: Agronomprogrammet – Mark/Växt

Utgivningsort: Uppsala

Utgivningsår: 2012

Omslagsbild: Tobias Neselius

Serietitel: Självständigt arbete/Examensarbete / SLU, Institutionen för ekologi

Löpnummer: 2012:22

Elektronisk publicering: <http://stud.epsilon.slu.se>

Nyckelord: växt-växtkommunikation, flyktiga organiska ämnen, VOC, interspecifik kommunikation, intraspecifik kommunikation, samodling.

Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Fakulteten för naturresurser och lantbruksvetenskap
Institutionen för ekologi

Sammanfattning

I dagens samhälle används alltmer jordbruksmark till byggnation eller görs icke odlingsbar på andra sätt, exempelvis genom försaltning. För att även i framtiden kunna försörja den alltjämt ökande befolkningen blir det därför allt viktigare att kunna leverera ökade skördar från jordbruksmarken. Samodlade grödor har i försök visats ge en ökad avkastning per areal, och kan därför komma att erbjuda ett alternativ till dagens monokulturer. Samodling kan ge ökad avkastning genom att de olika grödorna utnyttjar tillgängliga resurser på olika sätt och även genom ett samspel mellan växterna. Hur det här samspelet mellan grödor som samodlas ser ut måste man ta reda på mer om för att förstå hur samodlingen kan optimeras.

I den här studien undersöktes hur plantor som samodlas kan påverka varandra genom olika signaler. Exempelvis undersöktes om de flyktiga ämnena som växterna avger kan påverka allokeringen av biomassa mellan de ovanjordiska delarna och rötterna mellan eller inom arterna. I studien exponerades majs (*Zea mays*) och bönor (*Phaseolus vulgaris*) för flyktiga organiska ämnen (VOC:s) från majs (*Z. mays*). I försöket berördes även plantorna (med en pensel 60 sekunder per dag) för att se hur detta påverkade allokeringen av biomassan hos plantorna.

Ingen skillnad visades vid jämförelse mellan de olika behandlingarna som blivit exponerade för VOC:s från antingen penslad majs, openslad majs eller kontrollplanta av majs. Efter 21 dagar uppvisade majs som blivit exponerad för VOC:s från penslad böna kortare finrötter än majs som hade exponerats för openslad böna samt kontrollplantan av majs, spridningen på mätdata från denna mätpunkt var dock stor. Samt vid jämförelse mellan penslad majs samt openslad majs skedde ingen förändring av fördelningen på biomassan.

Nyckelord: Plant-plant kommunikation, flyktiga organiska ämnen, VOC:s, inter- intraspecifik kommunikation, samodling.

Conclusion

In today's society where more and more agricultural land is used for construction or becomes non-cultivable due to other reasons, for example salinization. To supply the ever increasing population, it becomes ever so important to deliver larger harvests from agricultural land. Intercropping, where two crops are grown in a field at the same time, may therefore offer a choice besides the modern monoculture. Experiments have shown that intercropping gives an increased yield per acreage. Intercropping is done by growing crops that uses available resources in different ways.

This study investigates if the volatile compounds that plants produce may affect the conditions of competition between or within species. In this study maize (*Zea mays*) and beans (*Phaseolus vulgaris*) were exposed to volatile compounds from maize (*Z. mays*). The experiment included unbrushed and brushed plants (to simulate touch). No difference on biomass distribution was seen between the different treatments on maize that had been exposed to VOCs from either brushed maize nor unbrushed maize. After 21 days the maize plant that had been exposed to VOCs from a brushed bean plant had not as long fine roots as maize that had been exposed to an unbrushed bean and a control plant of maize. However, the spread of data from this measurement was great. When comparing brushed maize to unbrushed maize there was no change in the distribution of biomass or the length of the fine roots.

Key words: Plant-plant communication, volatile organic compounds, VOC, VOCs, inter- intraspecific communication, intercropping.

Innehållsförteckning

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Samodling och dess fördelar | 5 |
| 1.1 | Samodling i praktiken | 6 |
| 1.2 | Signaler som påverkar växter | 8 |
| 1.2.1 | Yttre stimulans..... | 8 |
| 1.2.2 | Ljusstimulans..... | 8 |
| 1.2.3 | Rotsignaler | 9 |
| 1.2.4 | Luftburna signaler..... | 9 |
| 1.3 | Samodling som växtskydd | 10 |
| 1.3.1 | Skadegörare | 10 |
| 1.3.2 | Ogräs..... | 11 |
| 2 | Syfte och hypoteser | 12 |
| 3 | Material och metoder | 13 |
| 4 | Resultat | 16 |
| 5 | Diskussion | 21 |
| 6 | Felkällor | 22 |
| | Litteraturlista | 24 |
| 6.1 | Litteratur | 24 |
| 6.2 | Personlig kommunikation..... | 26 |
| 6.3 | Internet | 26 |
| | Tackord | 27 |
| | Bilagor | i |
| | Bilaga 1, Dagbok | i |
| | Bilaga 2, Hasselfors Garden – Special | ii |
| | Bilaga 3, Försöksupplägg | iii |

1 Samodling och dess fördelar

I en värld som alltjämt har en ökande befolkning är det viktigt att ta tillvara på den odlingsbara marken som återstår. Delar av denna mark hotas av byggnation, industrier och vägar eller riskerar att bli obrukbar bland annat genom försaltning. Ett sätt att försöka föda den ökande befolkningen kan vara samodling som går ut på att odla flera grödor samtidigt på en åker. Samodlingen ger generellt sett en högre totalskörd per area, och skapar därför möjlighet att föda ett större antal personer på samma areal.

I och med samodling kan grödor utnyttja tillgängliga resurser på ett bättre sätt än vid odling i renbestånd (Ghosh et al., 2006; Sobkiewicz, 2006). Grödorna kan t ex bättre utnyttja resurser som vatten och näring på olika djup i marken om plantorna har olika längd på rotsystemen. Andra resurser som solinstrålning kan också utnyttjas på ett effektivare sätt vid samodling, exempelvis om växter med olika växtsätt och ljusbehov kombineras.

Vissa grödor som samodlas kan dra nytta av växternas förmåga att skicka signaler mellan varandra. Signalerna, t ex i form av flyktiga organiska ämnen, kan exempelvis påverka tillväxten hos plantorna, men kan även verka som signaler till insekter.

Användandet av bekämpningsmedel kan på flera olika sätt minskas med hjälp av samodling av olika grödor. Genom att kombinera huvudgrödan med en bigröda som är intressantare för en skadegörare kan behovet av bekämpningsmedel minskas. Alternativt kan en lämplig bigröda locka naturliga fiender till skadegörarna och därigenom minska skadorna på huvudgrödan. Samodling kan även vara ett alternativ till att använda genetiskt förändrade växter (GMO) som skydd mot växtskadegörare. Ett framtida scenario skulle i och för sig även kunna vara det motsatta - att GMO-växter ges gener som gör att plantan själv kan producera flyktiga organiska ämnen som håller skadeinsekter borta eller hämmar grobarheten på andra arter för att minska deras konkurrens.

När det gäller problem med ogräs kan det ibland också avhjälpas med hjälp av samodling och på så sätt också minska behovet av bekämpningsmedel. Svåra odlingsförhållanden såsom vid konkurrens med parasitiska ogräs kan ibland klaras lättare vid samodling. Vidare kan den bättre marktäckningen som sker vid samodling ge ett lägre ogrästryck genom skuggning.

Merparten av samodlingen sker idag i länder där mekaniseringen av jordbruket ännu inte har hunnit så långt. Eftersom de samodlade arterna oftast når sin skördemognad efter olika lång tid, t ex majs och böna, krävs nästan alltid att skörden sker för hand under två omgångar. Metoden kräver dock totalt sett en lägre arbetsinsats per kg skörd, speciellt i länder där mycket av arbetet sker manuellt och insatsmedlen är begränsade.

I den här studien undersöktes flyktiga organiska ämnens påverkan på tillväxten av rötter och ovanjordiska delar vid samodling av majs och bönor.

1.1 Samodling i praktiken

Olika grödor kan av olika anledningar passa tillsammans i samodlingar. Böna (*V. faba*) och även ögonböna (*V. unguiculata*) har en tolerans mot skugga (Nasrullahzadeh et al., 2007; Midmore, 1993) vilket gör den till ett bra val vid samodling med skuggande växter såsom majs. Dessutom visade inte bönorna någon större skördesänkning vid samodling i jämförelse med i renbestånd (Rezaei-Chianeh et al., 2011). När grödor med olika höjd samodlas bör alltså den lägre grödan vara skuggtolerant. I mer tropiska trakter har potatis med fördel odlats under arter som ger skugga. Det ger ett mer fördelaktigt klimat för potatisen som då ger en högre avkastning (Kurupparachchi, 1990).

Bönan är även bra vid samodling eftersom dess kvävefixerande egenskaper tillför kväve till marken (WenXue et al., 2005). Faba-bönan har även ett högt innehåll av protein vilket gör den till en bra proteingröda för livsmedel (Mathews & Hary, 2003), och majs ger kolhydrater, vilket gör dessa två till en bra kombination (Minale, 2001), särskilt för självhushåll.

Vid samodling väljs arter som har komplementär egenskaper för att undvika att de konkurrerar om gemensamma resurser. Stråsäd kan exempelvis kombineras med en kvävefixerande gröda på kvävefattiga marker eller där det inte finns möjlighet att tillföra kväve. På fosforfattiga marker kan samodling ske med vissa baljväxter som kan öka tillgängligheten av markbundet fosfor, som samodlingsgrödan sedan kan tillgodogöra sig (Midmore, 1993). Miller et al. (2001) nämner ett flertal studier där många arter visats utsöndra APase (surt fosfatas), ett ämne som kan frigöra markbundet fosfor och göra det tillgängligt för växterna. Fosforupptaget hos växten kan ökas i storleksordningen 1,5 (*Vigna angularis*) till 20 gånger (*Lupinus albus*) genom utsöndring av APase (Tadano & Sakai, 1991).

En lämplig kombination av grödor kan också mildra besvärliga ogräs eller växtskadegörare. Det gör att insatser i form av herbisider, pestisider och arbete kan minskas eller helt undvikas.

Valen av grödor att kombinera i samodling är dock inte alltid självklar. Grödorna kan fungera väldigt bra att samodla på en specifik plats, exempelvis för att de är anpassade till ett visst klimat, en viss jord eller för att skydda mot en viss växtskadegörare, medan kombinationen av grödor inte fungerar på en annan odlingsplats. Vissa grödor fungerar inte att samodlas då de bara trivs under vissa speciella förhållanden, eller att samodlingsgrödan under dessa förhållanden konkurrerar för kraftigt med huvudgrödan (Fukai & Trenbath, 1993). Därför måste valet av arter som samodlas anpassas efter varje situation.

Samodling kan även ske på andra villkor än att alla de odlade grödorna tas tillvara på som kärnskörd. En eller flera arter kan istället odlas som en bigröda för att underlätta för huvudgrödan. Ett exempel på detta är försök som har utförts i Sverige där vete (*Triticum aestivum*) och vitklöver (*Trifolium repens*) samodlades. Det undersöktes hur kärnsköörden hos vete påverkades av samodlingen i jämförelse med odling av vete med kvävegödsling. Det första året gav en minskad skörd för vete-klöverkombinationen i jämförelse med renbeståndet, delvis beroende på att klöverbeståndet fick ett övertag över vetet. Genom att bekämpa klöver, för att hålla nere klöverbeståndet inför det andra årets vete-sådd lyckades veteplantorna få ett övertag och gav en något större kärnskörd än vid kvävegödsling. Halten av oorganiskt kväve i marken i marken likväl som halten kväve i kärnsköörden var högre i systemet med samodling (Bergkvist, 2003).

Planttäthetens betydelse i samodling har studerats (Chang & Shibles, 1985). Det har visats att man inte behöver använda samma planttäthet som vid monokulturer för att få optimal skörd. I samodling av majs och ögonböna (*Vigna unguiculata*) påverkades majsskörden per ha av dess egen planttäthet samt gödsling, men inte av planttätheten av ögonböna. Den största skördeökningen av majs i samodling med ögonböna fick man vid en något lägre planttäthet av majs och vid en redan låg tillgång på näringsämnen i marken (Chang & Shibles, 1985).

Land equivalent ratio (LER) är ett mått hur stor areal som krävs för att få motsvarande skörd som vid odling i monokultur. Försök gjorda i Iran där majs och sojaböner samodlades gav ett LER på 1,12–1,37, d v s det krävdes så många gånger större areal för att få samma skörd för grödorna i samodlingen i jämförelse med om de hade odlats i renbestånd (Rezvani et al., 2011).

Rezaei-Chianeh et al. (2010) visade på en generell reducering i avkastningen från *faba*-bönan vid samodling i jämförelse med odling i renbestånd. Försöket visade dock även på att samodling krävde mindre totalareal för skörden av de båda samodlade grödorna, där det i renbestånd hade krävts 22-97% mer odlingsmark för samma skörd. I försök av Rezaei-Chianeh et al. (2011) visas att majs (*Zea mays*) och bönor (*Vicia faba*) är relativt passande för samodling.

Ett annat slags samodling är reläodling, där nästa gröda sås innan den föregående har skördats. Detta kan antingen göras för att hinna få en skörd till under året innan odlingssäsongen är över eller för att den först sådda grödan ska få ett försprång om den exempelvis är långsam i starten (Midmore et al., 1988).

I många delar av världen används samodling för både livsmedel och foder (Carruthers et al., 2000). Majs är den tredje största grödan i världen och används ofta vid samodling (Adeniyani et al., 2007). Majs och faba-böna samodlas i stor utsträckning i de östra delarna av Afrika, Sydafrika och i Mexiko (Minal et al., 2001; Mbah et al., 2007). På Kuba är majs, bönor och kassava vanliga grödor för samodling (Pearce, 2001). Altieri (1999) sammanfattar de många olika odlingsåtgärderna på Kuba som vidtagits efter Sovjetunionens fall när importen av insatsmedel drastiskt minskade. Reformeringen av jordbruket på Kuba ledde till en tillbakagång av mekaniseringen, och istället växte småskaliga jordbruk med många små trädgårdar i städerna fram.

Den samodling som sker i Sverige idag är främst i blandvallar för djurfoder, där främst en blandning av gräs och klöver används för att få en skördeökning. Fördelarna med samodling, bl a kvävefixeringen, gör att man får ut ett proteinrikare foder till djuren. Fodret skördas som grönfoder och brukaren är därför inte i behov av separata skördar av varje gröda. Om fröskörd önskas bör valet av grödor som samodlas tänkas igenom. För att samodling med fröskörd som mål ska vara intressant i rationaliserade odlingsförhållanden är det nog en nödvändighet att använda sig av grödor när skördemogna vid samma tidpunkt. Grödor med snarlik fröstorlek bör också väljas för att kunna använda sig av konventionella tröskor vid skörd, eller alternativt använda sig av nya metoder där tröskan kan skilja fröer av olika storlekar.

1.2 Signaler som påverkar växter

Det finns många olika saker som kan påverka växter och deras sätt att växa och bete sig. Exempelvis reagerar växter på ljuset från solen och ibland på yttre stimulans. De kan även påverkas av signaler via rötterna eller kemiska luftburna signaler. Växter som kan utsöndra ämnen som missgynnar konkurrerande arter sägs ha allelopatiska egenskaper. Det kan ske genom att groningen hindras eller att plantans utveckling hindras (Nationalencyklopedin, 2012).

Allelopatiska egenskaper har hittats hos vete (*T. aestivum*), korn (*Hordeum vulgare*) och råg (*Secale cereale*) (Lovett and Hoults, 1995). Korn (*H. vulgare*) har visats ha allelopatiska effekter på vitsenap (*Sinapis alba*) som kan fördröja groningen samt hämma dess tillväxt (Liu & Lovett, 1993). I andra försök visas att mexikansk tagetes (*Tagetes minuta*) hämmar eller försenar groningen av frön av annan art i grannskapet (López, 2009). Extrakt från durra (*Sorghum bicolor*) har visats ha en hämmande effekt på ogräs när det sprutats på ogräsbladen, vilket då resulterat i en merskörd på huvudgrödan. Detta är några exempel på signaler mellan växter som kan utnyttjas vid samodling.

1.2.1 Yttre stimulans

Växtens beteende kan bero på en händelse, t ex yttre stimulans, eller på hur omgivningen förändras under växtens livstid (Silvertown & Gordon, 1989; Silvertown, 1998). Växtens beteende kan ses som en form av fenotypisk plastisitet, där responsen vid stimulans kan ske ganska hastigt (Silvertown & Gordon, 1989). Ett exempel på snabb respons vid yttre stimulans är när vissa så kallade köttätande växter vid en viss sorts beröring snabbt slår ihop fångstanordningen (Darwin, 1893; Braam, 2005).

Växtens rötter och blad har inte ett förutbestämt utseende utan den kan själv förändra detta efter behov för att kunna tillgodogöra sig största möjliga mängd näring, vatten och ljus. *Mimosa* som är en tropisk ärtväxt vinklar ner sina blad vid kraftigt regn. Under andra förhållanden som lättare regn eller landande insekter reagerar den dock inte på den sortens stimulans (Dean & Smith, 1978).

De snabba rörelserna är möjliga genom flera olika egenskaper hos växterna, så som förändringar av turgortrycket, osmotiska förändringar i jonkoncentrationen, aktionspotential och elektriska signaler (Braam, 2005).

1.2.2 Ljusstimulans

Långsamma rörelser kan ske hos växter när de exempelvis följer efter ljusets riktning. Denna så kallade heliotropism gör att växten kan tillgodogöra sig största möjliga mängd ljus. Denna plastisitet tillåter även växterna att forma sig efter sin omgivning. Exempelvis kan växterna genom cellelongering växa ifrån grannar på höjden för att ta tillvara på så mycket solljus som möjligt. Dessa växter förgrenar sig inte i samma utsträckning som oskuggade växter. Om växten skuggas av andra växter känner den av det genom att ljuset gått igenom andra blad på vägen och har en lägre kvot mellan rött och långvågigt rött ljus (R:FR) (Smith, 2000). Växterna känner av ljuset med fytokrom, som är en fotoreceptor, och kan därigenom avgöra vilken R:FR-kvot ljuset har. Om denna kvot är lägre än för direkt solljus svarar växten med att växa sig högre, exempelvis genom cellelongering, för att söka sig till områden där det finns mer ljus (Ballaré, 1999; Silvertown, 1998). Att förutse framtida händelser är en viktig förmåga hos växterna. Det verkar som om växterna t o m kan känna av det långvågiga röda ljuset som

reflekteras från grannarnas blad och därför få tidiga signaler om skuggning innan bladen ens är skuggade (Ballaré et al., 1987). Detta gör att växten expanderar åt de håll där det finns tillräckligt med ljus, vilket resulterar i ett asymmetriskt tillväxtsätt som tar tillvara på största möjliga mängd ljus (Schmitt et al., 1999). Försök där långvågigt rött ljus filtrerats bort har visat att växter reagerar starkare på att R:FR-kvoten är låg än på själva ljusintensiteten (Novoplansky, 1991). Det har i studier visats att växter som blivit genetiskt modifierade för att vara okänsliga för eten, även var mindre benägna att reagera på skuggning. Det verkar därför som att eten har ett finger med i signalspelet (Pierik et al., 2003).

Växter som faller sina blad under vissa perioder på året, exempelvis under vinterhalvåret som svar på de kortare dagarna, förväntar sig en kommande period av ofördelaktiga växtförhållanden. De kortare dagarna är en ledtråd för växterna att stundande förhållanden kan vara skadliga för växten. (Baskin & Baskin 1998). När växterna uppvisade ett sådant beteende skulle det kunna tolkas som att de har möjlighet att läsa av framtiden, men detta ska inte ses som ett sådant beteende, utan är enbart ett svar på de signaler som brukar sammanfalla med framtida förhållanden (Karban et al., 1999).

1.2.3 Rotsignaler

Kin recognition är en egenskap som vissa växter har, och som betyder att plantan kan känna av om det finns närbesläktade eller obesläktade plantor som växer i dess närhet.

Dudley och File (2007) visade på *kin recognition* hos *Cakile edentula* genom rotkommunikation. Detta uttryckte sig i att mer biomassa allokerats till rötterna. Milla et al. (2009) visade på en lägre *fitness* hos *Lupinus angustifolius* i odling med plantor som var genetiskt liknande (samma moderplanta), men uteslöt ändå *kin recognition* som en generell mekanism hos växter.

1.2.4 Luftburna signaler

Vissa signaler inom plantan kan triggas av flyktiga organiska ämnen (VOC:s) och om de flyktiga ämnena härstammar från växtens yta är det troligt att de inte enbart begränsas till den egna plantan utan även kan påverka grannplantorna. Därför är det tänkbart att dessa signaler mellan plantor har sitt ursprung just i signalering inom plantan (Heil & Karban, 2009).

Ninkovic (2003) visade att luftburen kommunikation förekommer mellan två kornsorter (*Hordeum vulgare*), Alva och Kara. Bladytan i förhållande till bladens torrsvikt hade ökat kraftigt hos Kara som hade blivit exponerad för VOC:s från Alva. Det skedde alltså ingen förändring av totala biomassan hos bladen, men istället förändrades allokeringen av biomassan. I studier utförda av Glinwood et al. (2011) visades att korn (*H. vulgare*) förändrade allokeringen av biomassan mellan blad och rötter när plantor utsattes för flyktiga organiska ämnen från korn av andra sorter, men ingen förändring skedde när plantor exponerades för luft eller flyktiga organiska ämnen från samma sort.

Förutom förändring av allokering av biomassa har studier visat på att signaler i form av flyktig organiska ämnen kan påverka ogräs och skadegörare. Detta fenomen kan utnyttjas som växtskydd vid samodling. Dock kan signalerna även ha en negativ effekt. Heil & Karban (2009) nämner ett flertal studier som visade på att parasitiska växter och växtätande insekter kan använda sig av VOC:s som utsöndras från en potentiell värdväxt för att hitta till lämpliga värdar, vilket då medför en stor ekologisk kostnad. Det gör att värdväxten kommer att använda resurser för att avge VOC:s medan mottagaren kan dra nytta av dessa signaler (Hoballah et al., 2004). Detta skulle kunna ses som en form av

tjuvlyssning på signaler mellan växter i grannskapet, istället för just en kommunikation mellan växterna (Heil & Karban, 2009).

1.3 Samodling som växtskydd

Samodling ger inte bara en högre skörd på grund av att landarealen utnyttjas på ett effektivare sätt, utan i vissa fall även på grund av att ogrästycket kan minskas eller att skadegörare kan lockas bort från huvudgrödan.

1.3.1 Skadegörare

Genom samodling av lämpliga grödor kan effekten av skadegörare minskas. En planta som skadas av insektsangrepp kan komma att avge flyktiga organiska ämnen. Dessa ämnen har i en studie visats kunna hålla nere antalet skadegörare på åtminstone två sätt: genom att locka till sig naturliga fiender till skadegörarna, och genom att kunna minska antalet ägg som växtskadegörarna lägger och därmed trycka ner tillväxthastigheten hos skadegörarna (Engelberth et al., 2004). Alkoholen (Z)-3-hexen-1-ol (förkortas Z-3-ol) och eten är exempel på flyktiga ämnen som avges från växtens blad när en mekanisk skada uppkommer, exempelvis från ett insektsangrepp (Hatanaka et al., 1995, Tschardt et al., 2001). Grannplantorna svarar på de flyktiga ämnena som en skadad planta avger genom att rusta till försvar. Detta har tolkats som att växten svarar på ett nära förestående angrepp från växtätande skadegörare (Dicke & Bruin, 2001).

När plantor samtidigt exponeras för Z-3-ol och eten visade denna kombination på en kraftig synergieffekt, plantorna började avge större mängder av flyktiga ämnen än när de exponerades för dessa ämnen var för sig (Ruther & Kleier, 2005). Plantor kan avge eten i ett flertal försvarsmekanismer, och även då mekaniska skador uppstår på blad (Tschardt et al., 2001). Majs utsöndrar eten enbart vid herbivorangrepp men inte vid mekaniska skador. Eten kan bland annat samverka med det flyktiga ämnet volicitin, (Schmelz et al., 2003). En studie från USA visade att volicitin avges via sekretet hos larven *Spodoptera exigua* och tas upp av växten när larven äter på värdväxten. Det visade sig ge ett systemiskt svar som kan locka till sig en naturlig fiende. I försök där majsplantor exponeras för volicitin lockar plantorna till sig naturliga fiender till skadeinsektens larver, även utan att några larver finns närvarande (Turlings et al., 2000). Det har även visats att korn (*H. vulgare*) kan erhålla ett inducerat systemiskt skydd mot mjöldagg genom exponering för flyktiga organiska ämnen från beskurna kornplantor (Fujiwara et al., 1987). Flyktiga organiska ämnen från veteplantor (*T. aestivum*) har visats locka till sig bladlöss, medan veteplantor med ett stort antal bladlöss ger ifrån sig flyktiga ämnen som verkar avskräckande på bladlössen (Quiroz et al., 1997).

Mérey et al. (2011) nämner ett flertal studier där VOC:s från gröna blad (green leaf volatiles, GLV) attraherar parasitoider, predatorer samt ett antal skalbaggar (*Coleoptera*). Deras resultat antyder att plantor som exponeras för GLV även lockar till sig ett antal växtätande insektsarter och därför knappast ger någon förändring i parasiteringen. Deras resultat ger även bekräftelse på att GLV:s är fysiologiskt aktiva även vid väldigt låga koncentrationer. Plantor som blir exponerade för GLV ökar mängden VOC:s som utsöndras.

I Afrika använder man bland annat afrikanskt elefantgräs (*Pennisetum purpureum*) för att locka bort skadegörare från huvudgrödan. Majsmotten (*Ostrinia nubilalis*) är ett exempel på skadegörare som föredrar det afrikanska elefantgräset framför majs. Elefantgräset producerar ett slem som larverna fastnar i och sedermera dör (Pearce, 2001), och på så sätt skyddas huvudgrödan från insektsangrepp. I fältförsök har även visats att angreppen av bladlöss på korn kunde minskas genom att samodla olika sorter av korn (Ninkovic et al., 2002).

I fältförsök med Limaböna (*Phaseolus lunatus*) uppvisades att den luftburna kommunikationen kun- nat trigga resistens mot herbivorer eller patogener på ett avstånd på upp till 50 cm från avsändarplan- tan (Heil & Adame-Álvarez, 2010).

1.3.2 Ogräs

Samodling av vissa växter kan minska tillväxten av ogräs, och på så sätt leda till större skördar. *Striga spp.* är ett ogräs som bland annat finns i Afrika. Det är en parasitväxt som växer in i värdväxtens rötter och kraftigt minskar skördarna. *Strigans* frön känner av kemiska ämnen som utsöndras från värdväx- tens rötter, vilket blir en signal för att börja gro. Inom några dagar måste *Strigan* växa in i rötterna för att överleva, och därför sammanfaller dess tillväxtfas med värdväxtens (Chang et al., 1986).

Genom samodling kan man minska tillväxten hos *Strigan*. Exempelvis visade sig samodling av majs och ärt (*Pisum sativum*) vara en bra metod för att hålla nere beståndet med *Striga*, troligen på grund av skuggning, sänkt temperatur, samt en höjd luftfuktighet (Oswald, 2002). Även tillgången på kväve i marken verkar påverka *Strigan*. En låg kvävetillgång förvärrar *Strigans* parasitiska effekt på grödan, medan höga kvävehalter reducerar dess skadliga verkningarna (Sanon et al., 2009). Samodling med kvävefixerande grödor kan därför vara en av förklaringarna till varför ökade skördar erhöles i områden med *Striga*. En del menar dock att *Strigan* enbart kan minskas genom att rensa bort fullvuxna plantor på mekanisk väg och därigenom minska fröbanken i marken.

Allt fler lantbrukare i Afrika använder sig av ett annat ogräs, telegrafört (*Desmodium spp*), för att bekämpa *Strigan*. I samodling med telegrafört groer inte *Striga* vilket gör att skörden ökar samt att ar- betsinsatsen för ogrärensning drastiskt minskar (Pearce, 2001). Framförallt lantbrukare som odlar under förhållanden med låga nivåer av insatsmedel drar nytta av denna samodling i syfte att kontrol- lera *Strigan* (Midmore, 1993). Utan denna bekämpning med hjälp av telegrafört skulle skördarna minska med uppskattningsvis tio miljarder USD (2001) enbart i Afrika.

2 Syfte och hypoteser

Det är viktigt att undersöka hur växter påverkas i en konkurrenssituation mellan olika plantor i jämförelse med i ett renbestånd för att förstå hur kommunikationen mellan plantor fungerar. Rötterna hos en gröda kan t ex förändra sin vikt i förhållande till bladvikten som svar på signaler så som flyktiga organiska ämnen. Om en sådan förändring i allokeringen av biomassa kan ses efter exponering för flyktiga organiska ämnen indikerar det att grödan kan uppfatta och reagera på dessa signaler. I den här studien undersöktes hur majs påverkades av signaler från böna och majs.

Tidigare studier har framförallt varit inriktade på den tidiga vegetativa tillväxten och det är oftast inte känt hur allokeringen av biomassa mellan ovan- och underjordiska delar ser ut senare i tillväxten (Ninkovic, 2003). I den här studien undersöktes därför plantornas tillväxt och allokering av biomassa ända upp till tjugoen dagar efter sådd. För en förändring i allokeringen av biomassan ska kunna ske måste det ske en kompromiss, *trade-off*, eftersom den totala biomassan inte förändras. En sådan omfördelning kan ske exempelvis vid konkurrens (Ryser & Lambers, 1995).

Följande hypoteser lades fram

- Majs som exponeras för signaler i form av flyktiga organiska föreningar från böna kommer att förändra sitt allokeringsmönster av plantans biomassa.
- Majs som exponeras för flyktiga organiska föreningar från majs kommer inte att förändra sin allokering av biomassa.
- Plantor som blir berörda dagligen kommer att allokera mer biomassa till rötterna i jämförelse med de plantor av samma art som inte blir berörda.

I denna studie undersöktes inte vilka kemiska ämnen som avges av växterna, utan bara växternas respons.

3 Material och metoder

I studien odlades majssorten *Zea mays var Delprim*, hädan efter benämnd majs, och bönan *Phaseolus vulgaris var Saxa*, hädan efter benämnd böna, för att undersöka om majsplantor exponerade förflyktiga organiska ämnen från majs respektive böna förändrade sin allokering av biomassa. Effekten av beröring på växternas tillväxtsätt undersöktes också i studien.

Bönorna förbereddes en dag före sådd genom att de lades i petriskålar på blött filterpapper för att påskynda groningen. Kommande dag steriliseras majsutsädet i 70 % EtOH i tre minuter för att minska infektionsrisken på plantorna under försöket (pers. komm. Dimitrij). Därefter sköljdes de med en riklig mängd avjonat vatten. Bönorna och majsen såddes i *Hasselford Garden - Special* (se bilaga 2 för jordrecept) i plastkrukor från VEFI, 100 x 100 mm. Bönorna såddes på ett djup av ca 35 mm, och majsen på ett djup av ca 25 mm. Dagen för sådd sattes till dag noll (0). Efter sådd skedde daglig tillsyn av plantorna (se bilaga 1 för närmare information). Dag 9 flyttades plantorna till så kallade dubbelkammare, se figur 1. I dessa kammare kunde majs exponeras för flyktiga organiska ämnen från majs och böna (Pettersson et al., 1999; Ninkovic, 2003). Majs, eller alternativt böna, stod i kammare 1 i dubbelkammaren, medan majs som skulle exponeras stod i kammare 2. En vakuumpump skapade ett undertryck i kammare 2, vilket gav upphov till ett flöde som drog med sig eventuella flyktiga organiska ämnen från plantan i kammare 1 till plantan i kammare 2. Kontrollförsök utan något i kammare 1, där alltså majs i kammare 2 bara exponerades för ren luft, gjordes också. Utsugsluften blåstes ut ifrån växthuset för att undvika återcirkulation av de flyktiga kemiska substanserna till dubbelkammarna.

I växthuset fanns temperaturstyrning, tillskottsbelysning (16 h ljus 8 h mörker), droppbevattning samt möjlighet att reglera luftfuktigheten. Hygrometern som reglerade luftfuktningen sattes till 50 %.

Femtio dubbelkammare användes så att femtio parallella försök kunde göras, både med lika och olika behandlingar av plantorna. Majsplantorna som var placerade i kammare 2 exponerades för flyktiga organiska ämnen från majs och böna i kammare 1. Flyktiga organiska ämnen från dessa plantor, som var antingen oberörda eller berörda (pensling 60 s dagligen) fördes in till kammare 2 för att undersöka deras effekt på tillväxtsättet hos plantorna i kammare 2. Huruvida beröringen påverkade majsen i kammare 1 undersöktes också. Dessutom gjordes kontrollförsök där majsplantor i kammare 2 enbart exponerades för luft (ingen planta i kammare 1).

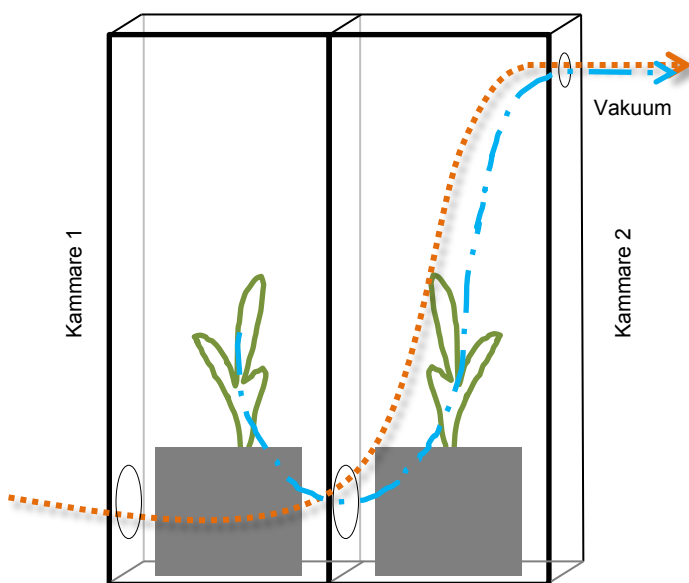
De olika plantorna i studien namngavs på följande sätt: (kammare 1), penslad majs (Mb), openslad majs (Mn), penslad böna (Bb), openslad böna (Bn), (kammare 2) majs exponerad för penslad majs (MeMb), majs exponerad för openslad majs (MeMn), majs exponerad för penslad böna (MeBb), majs exponerad för openslad böna (MeBn), och kontrollen (Mk). I bilaga 3 visas randomiseringen av de olika behandlingarna

Skörd av plantorna skedde tolv, femton, aderton och tjugo dagar efter sådd. Vid skörd klipptes de ovanjordiska delarna av och lades mellan sidorna i ett skrivblock för att hålla formen fram till dess att delarna skulle mätas. Rötterna skiljdes från jorden genom handtvätt. För att hålla rötterna fräscha tills de skulle mätas lades de i en 10 % EtOH-lösning och ställdes i ett kylrum. Den så pass låga koncentrationen av alkohol valdes eftersom en högre koncentration hade gjort rötterna skörare och därför mer svårhanterliga vid mätningarna (pers. komm. Ninkovic, 2011). De ovanjordiska delarna (blad + stam) och rötterna vägdes med en självkalibrerande laboratorievåg (noggrannhet 0,1 mg). Bilder scannades in av alla växtdelar med en Epson Perfection 4990 Photo. Bladen scannades genom att läggas direkt på scannerns flatbädd. Rotsystemen lades däremot först i en plexiglasform som fylldes med avjonat vatten så att rötterna skulle spridas ut och inte ligga ihopklumpade. Den övre belysningen i scannerns lock användes för att få en helt vit bakgrund, som underlättade vid den efterföljande mätningen av växtdelarna i analysprogrammet WinRHIZO PRO (Regent Instruments). Bladarean (cm^2) för bladen, och den totala rotlängden (cm), rotlängden uppdelad i tjockleksklasser om 0,05 mm, rotvolymen (cm^3) och genomsnittlig diameter (mm) för rötterna mättes.

De statistiska beräkningarna utfördes i Statistica 64 v.10 (StatSoft). Analysmetoden var ANOVA följd av LSD-mean och Tukey-test för parvisjämförelse av mätdata.

Försöket utfördes vid ekologiinstitutionen vid SLU i Uppsala (Lat N 59° 49' Lon E 17° 39') under fjärde kvartalet 2011.

Figur 1. En schematisk bild över dubbelkammare i plexiglas. Den orangea pilen (prickade strecket) representerar det luftflöde som uppkommer av det undertryck som skapas genom sugslangen som är kopplad till det övre högra hålet. Den blå pilen (streckt med punkter och streck) representerar det tänka flödet av VOC:s. I sidan på plexiglasen var även hål till varje kruka för droppbevattningen.





Figur 2. Majsplanta (MeBn) i bakre kammaren exponeras för flyktiga organiska ämnen från böna (Bn) i främre kammaren. I bilden syns även de individuella droppslangarna för den automatiska bevattningen.

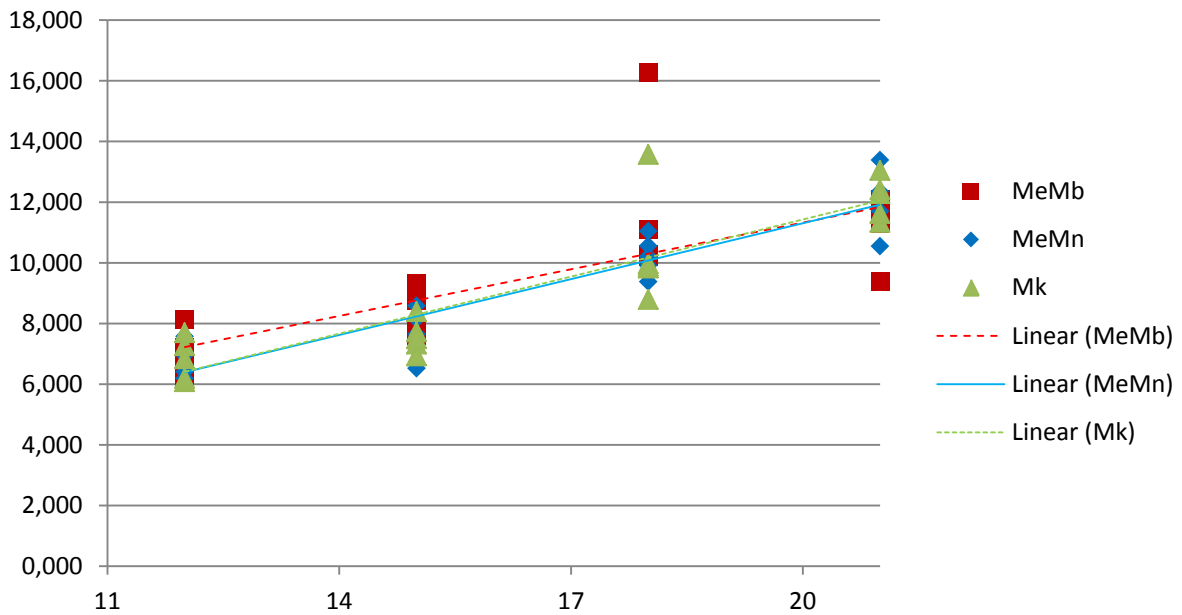
4 Resultat

Ingen skillnad på viktkvoten mellan de ovanjordiska delarna och rötterna (*shoot/root*, *S/R*) sågs vid jämförelse mellan majs som blivit exponerad för VOC:s från penslad majs (MeMb), majs som blivit exponerad för openslad majs (MeMn) samt kontrollplanta av majs (Mk), se figur 3. Ej heller någon skillnad i rotlängd mellan dessa tre behandlingar sågs vid de olika skördetillfällena, se figur 4

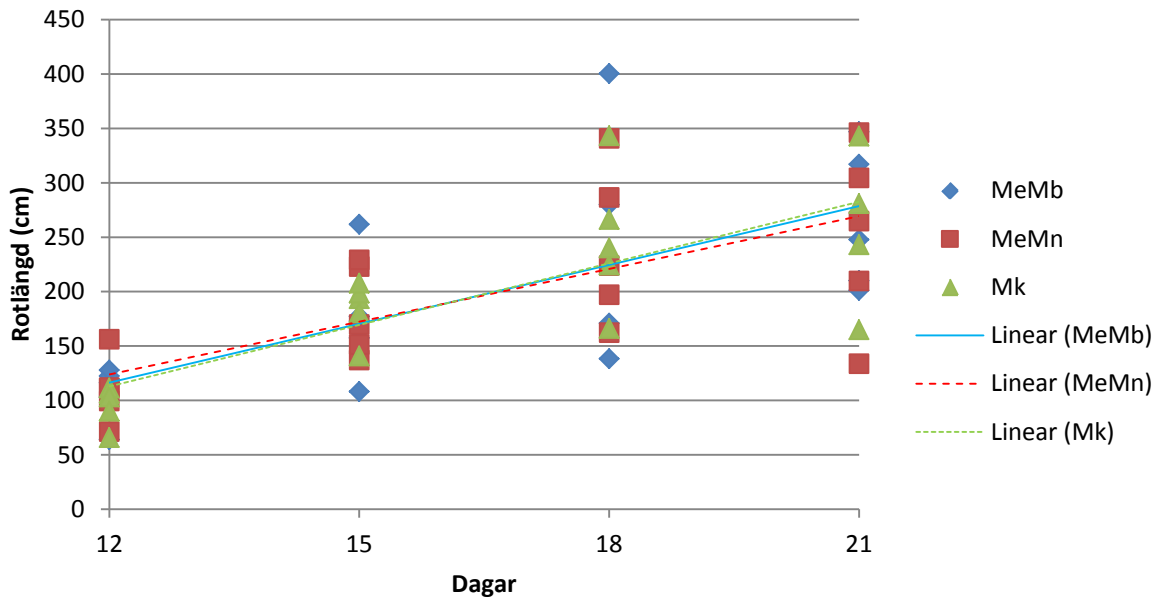
Vidare jämfördes av *S/R* för majs som hade exponerats för VOC:s från penslad böna (MeBb) eller openslad böna (MeBn) uppvisade ingen förändring av biomassa fördelningen, se Figur 5. För rotlängden verkar beröring ha en viss påverkan på rötternas tillväx. Resultaten visade att MeBn hade längre rötter än MeBb när experimentet avslutades, se figur 6. Skillnaden uppvisas dock enbart vid dag 21 och spridningen är stor på dessa värden.

För att undersöka om beröring påverkar allokering av biomassa hos böna jämfördes penslad (Bb) och openslad böna (Bn) (som växt i kammare 1). Ingen förändring i *S/R* uppvisades mellan de olika behandlingarna, se figur 7. Första dagen var rötterna hos Bb och Bn ungefär lika långa, men efter tolv dagars behandling visade Bn en tendens att ha längre finrötter än Bb, framförallt i klassen 0,5-0,15 mm, se figur 8.

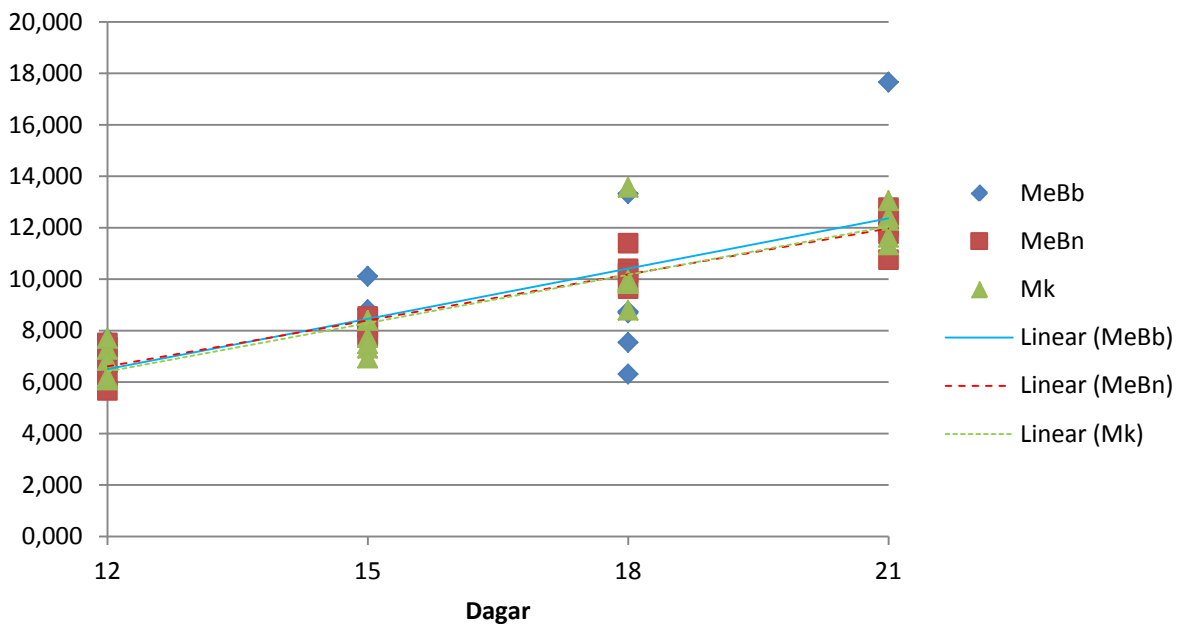
Ej heller jämförelsen mellan penslad majs (Mb) och openslad majs (Mn) uppvisade någon förändring de olika behandlingarna och dagarna, se figur 9. Kvoten mellan *S/R* gav heller ej någon förändring i biomassa fördelningen mellan de två behandlingarna, se figur 10.



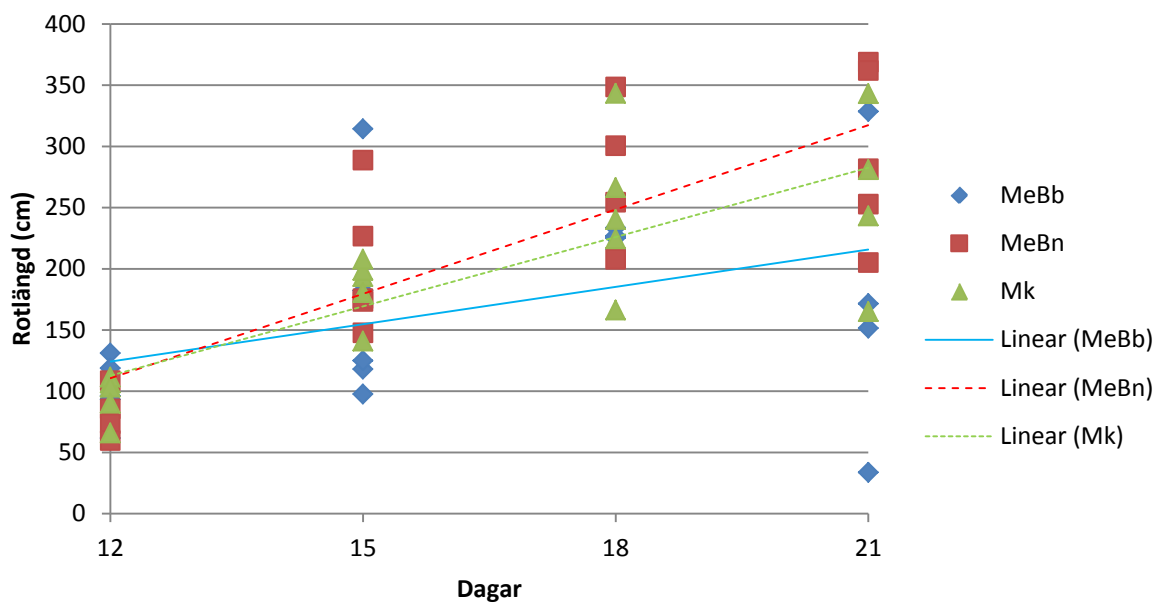
Figur 3. Viktkvoten mellan ovanjordiska delar och rötter (S/R) mot dagar. Majs exponerad för openslad majs (MeMn), Majs exponerad för penslad majs (MeMb) samt kontrollplanta av majs (Mk). Ingen förändring i biomassafördelningen har skett mellan de olika behandlingarna.



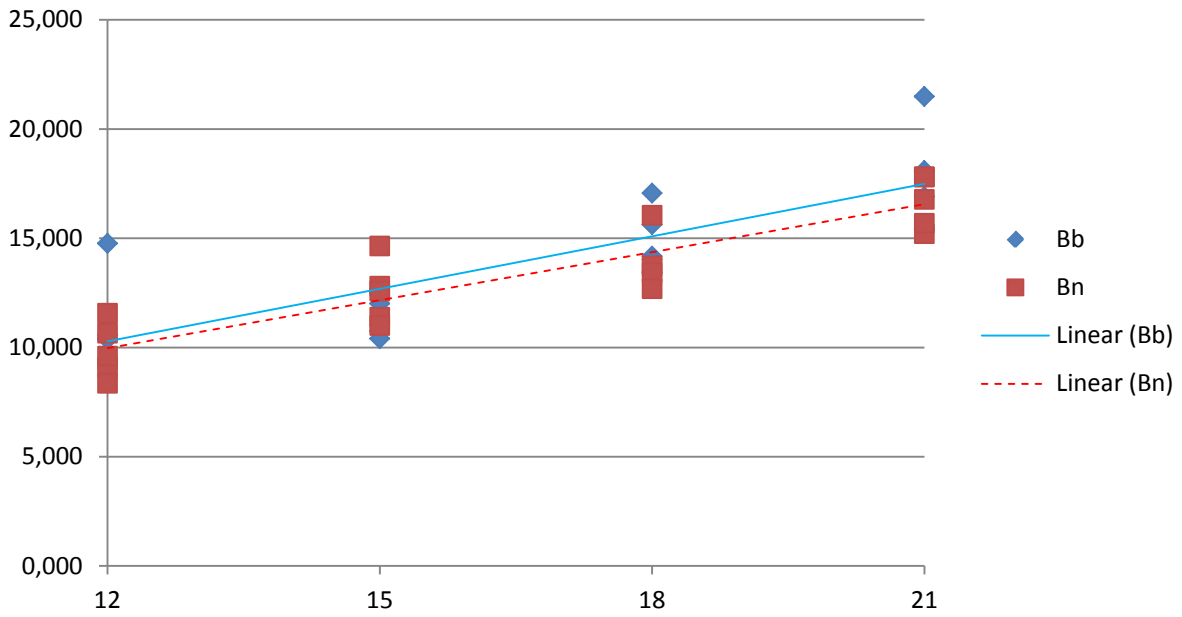
Figur 4. Rotlängden i tjockleksklassen 0,1-0,15 mm.). Majs exponerad för openslad majs (MeMn), Majs exponerad för penslad majs (MeMb) samt kontrollplanta av majs (Mk). Ingen förändring i biomassafördelningen har skett mellan de olika behandlingarna.



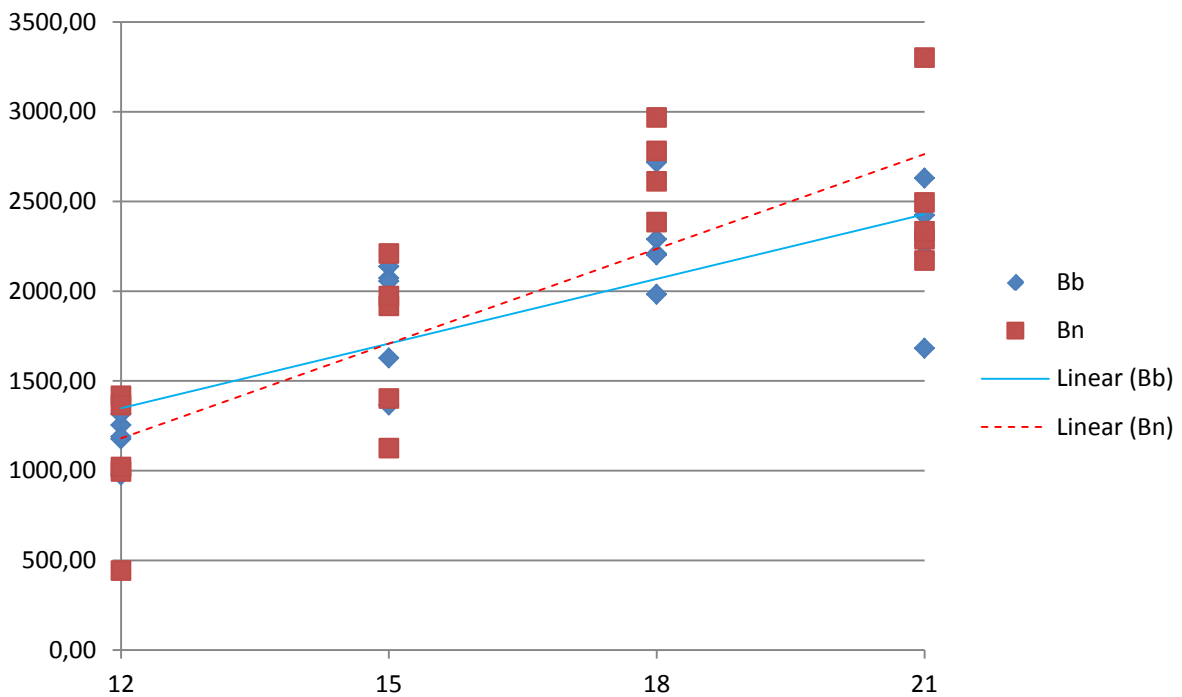
Figur 5. S/R mot dagar. Majs exponerad för openslad böna (MeBn), Majs exponerad för penslad böna (MeBb) samt kontrollplanta av majs (Mk). Ingen förändring i biomassafördelningen har skett mellan de olika behandlingarna.



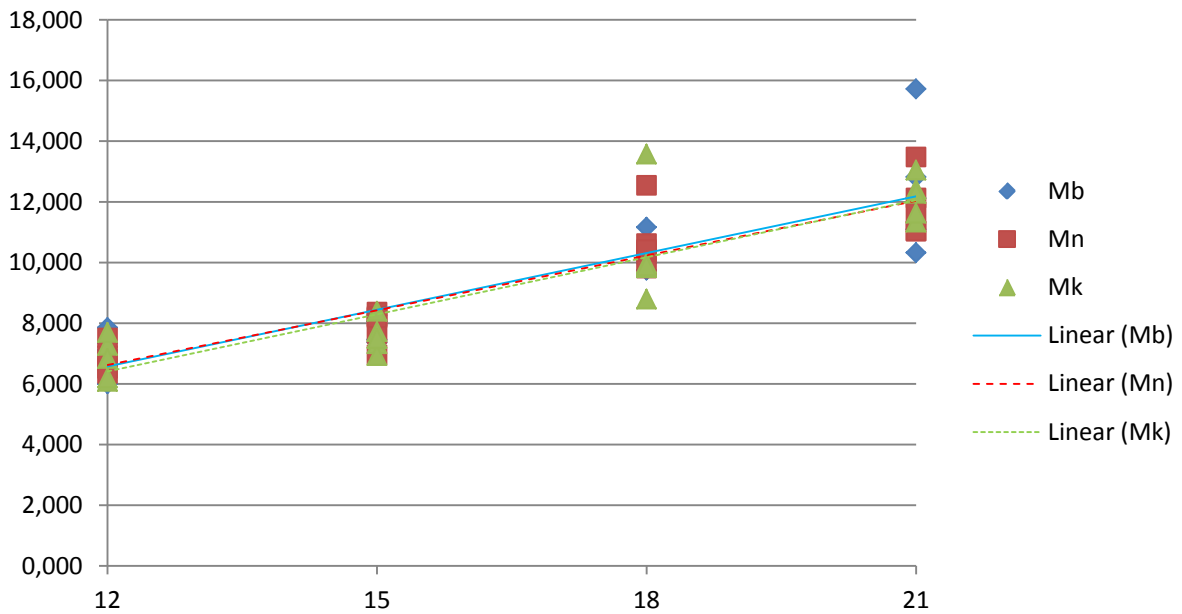
Figur 6. Rotlängden i tjockleksklassen 0,1-0,15 mm. Majs exponerad för openslad böna (MeBn), Majs exponerad för penslad böna (MeBb) samt kontrollplanta av majs (Mk). Ingen förändring av biomassafördelningen uppvisades.



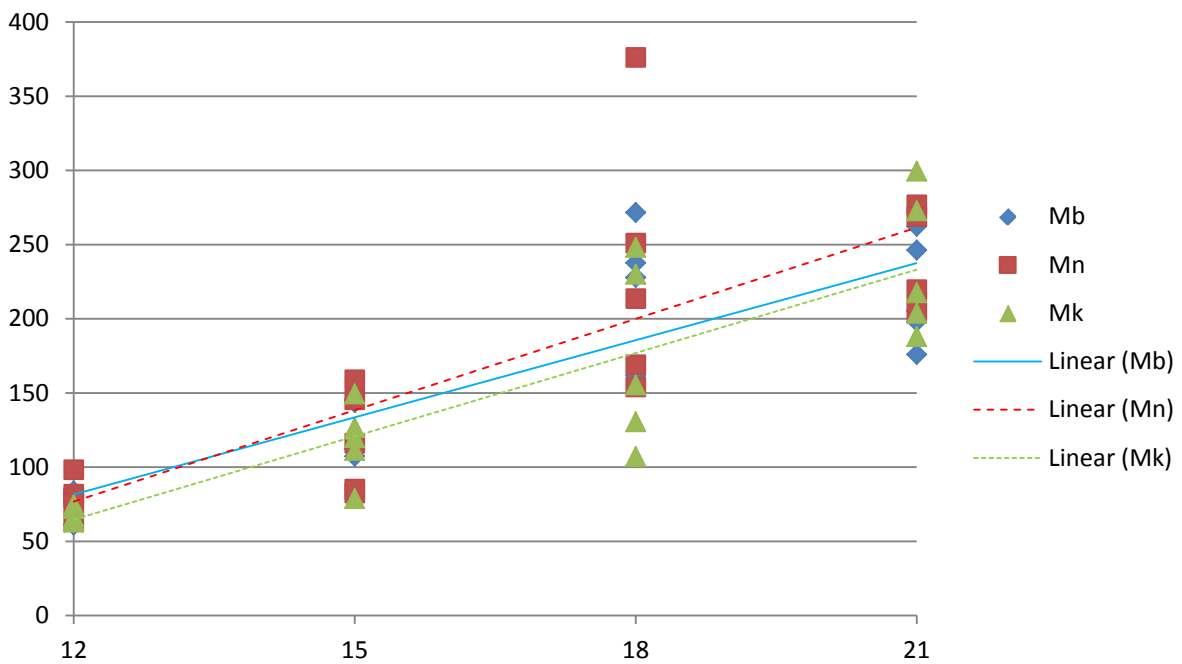
Figur 7. S/R mot dagar. Openslad böna (Bn), penslad böna (Bb). Ingen förändring i biomassallokering uppvisas mellan de två leden.



Figur 8. Rotlängden i tjockleksklassen 0,1-0,15 mm. Penslad böna (Bb), openslad böna (Bn). Bn visar med tiden en tendens att få något längre finrötter.



Figur 9. S/R mot dagar. Openslad majs (Mn), penslad majs (Mb). Ingen förändring i biomassaallokering uppvisas mellan de två leden.



Figur 10. Rotlängden i tjockleksklassen 0,1-0,15 mm. Penslad majs (Mb), openslad majs (Mn). Ingen förändring mellan de olika behandlingarna och rotlängden på finrötterna uppvisades.

5 Diskussion

Majs exponerad för flyktiga organiska ämnen från penslad majs (MeMb) eller alternativt från openslad majs (MeMn) ändrade inte sin biomassaallokering. Det beror troligen på att de är av samma sort och därför tillräckligt närbesläktade för att inte konkurrera med varandra. Resultatet från dessa experiment stödjer därför hypotes 2 om att majs som blir exponerad för majs inte kommer att förändra sin allokering av biomassa. Detta stämmer även överens med resultatet i en tidigare studie där korn exponerades för VOC:s från korn av samma sort utan att uppvisa någon förändring av allokeringsmönstret. (Glinwood et al. 2011).

En förändring i allokeringsmönstret hos majs som exponerades för VOC:s från penslad böna kunde inte observeras förrän efter 21 dagar. Då var förändring av rotlängden tydlig och statistiskt signifikant, även om spridningen på mätdatan var stor. Resultatet ger därför inga entydiga svar på huruvida majs som exponeras för flyktiga organiska ämnen från böna förändrar sitt allokeringsmönster, och hypotes 1 som påtalar detta kan inte styrkas.

Penslad böna (Bb) fick överlag något kortare rötter i de flesta av storleksklasserna än openslad böna (Bn). Resultaten verkar därmed inte stämma överens med hypotesen om att berörda plantor allokerar mer biomassa till rötterna. En möjlig orsak till detta kan vara att bönplantan uppfattar penslingen som om att det finns en grannplanta som konkurrerar, och därmed allokerar mindre biomassa till rötterna. Det behövs dock fler försök i större omfattning under rätt årstid för att dra någon slutsats.

I en tidigare pilotstudie undersöktes enbart hur massan hos de ovanjordiska delarna förändrades i försöken. Pilotstudien visade på att plantor som blev berörda 60 s med pensel svarade med att ändra sitt tillväxtsätt genom att allokerar mindre biomassa till ovanjordiska delar, jämfört med plantor som inte blivit berörda (Markovic, 2011, opublicerade data).

Vid jämförelse av rötterna mellan de olika behandlingarna uppvisades dock ingen skillnad, vilket kan innebära att det inte hade blivit någon skillnad även om stam och blad hade vägts åtskilda.

Om de exponerade plantorna enbart blivit exponerade för låga doser av flyktiga organiska ämnen kan det vara så att de enbart blivit *primade* men utan någon förändring i biomassaallokeringen, men att de då skulle kunna svara snabbare på kraftfullare signaler när det sedan behövdes (Heil & Karban, 2009).

6 Felkällor

Det finns flera saker som kan ha påverkat resultatet i den här studien. Här beskrivs några felkällor i försöken och förslag på lösningar för att kunna undvika en del av dem i kommande studier.

Experimenten skedde under en tid då ljusförhållandena inte var optimala eftersom dagarna blev allt kortare. Metallhallid-lampor användes som tillskottsbelysning (16h ljus per dag), men detta verkade inte tillräckligt för att kompensera för det minskade ljuset för plantorna upplevdes ändå som långa och gäckliga så som vid celledgering. Vid framtida försök bör därför en lämpligare odlingssäsong väljas. Alternativt skulle odlingen kunna ske i ett odlingsrum med enbart artificiellt ljus i fullspektrum för att säkerställa en jämn ljuskvalitet under hela året. Det finns specialanpassade växtlysrör (Osram, 2012) som har ett ljusspektrum anpassat för växter. LED-belysning är ett annat alternativ som t o m kan vara ännu bättre jämfört med andra typer av tillskottsbelysning eftersom det är möjligt att välja lysdioder med ett optimalt spektrum som är anpassat till klorofyllets absorptionstoppar och på så sätt ge en skräddarsydd lösning på belysningen.

En annan felkälla skulle kunna vara att dubbelburarna inte släpper igenom rätt ljus till plantorna. Därför undersöktes absorptionsspektrumet (Hitachi U-2001 spektrofotometer) av dubbelburarnas plexiglas för att avgöra om det fanns någon absorption av ljus i området 400-800 nm. Absorptionskurvan visade på en försumbar absorption som inte var större än 0,01 i det kortare våglängdsområdet ner mot 400 nm. Därför kunde det uteslutas att plexiglasburarna förändrade det infallande ljusspektret så mycket att det skulle påverka plantorna. Plastmaterialet i växthuset (väggar, tak) har dock inte undersökts, men det är troligen anpassat för att inte absorbera ljus i det våglängdsområdet.

Antalet plantor kan också ha påverkat resultaten. Endast fem plantor användes för varje behandling och mättag vilket gjorde att variationen mellan resultaten i de olika försöken blev påtaglig. Dessutom föll en del mätdata bort på grund av tekniska felaktigheter vilket gjorde resultaten än svårare att tolka. Minst åtta ofelaktiga plantor bör väljas i varje försök i kommande studier för att få ett bättre underlag.

I den här studien undersöktes allokeringen av biomassa efter maximalt 21 dagar. Det skulle kunna vara bättre att undersöka plantornas allokering efter längre tid för att få mätvärden från flera utvecklingsstadier hos plantorna. I en sådan studie skulle det kunna vara färre antal skördetillfällen, och alltså flera dagar mellan varje skörd. Exempelvis skulle första skörden kunna ske vid dag 21 efter sådd. De kammare som användes i detta försök är dock inte storleksanpassade för den storleken av plantor.

Det första försöket som gjordes i denna studie avbröts på grund av att topparna på första och andra bladet på majsplantorna vissnade. Ett nytt försök startades för att inte riskera att få en felaktig bladarea.

Vissa studier har visat att plantor kan påverka varandra via rötterna. I den här studien hade det därför varit gynnsamt om krukorna hade placerats i petri-skålar för att förhindra att vatten fördes från en kruka till en annan för att minimera risken för rot-rot-kommunikation (Ninkovic, 2003).

Luftfuktigheten sattes till 50 % i växthuset. Det fanns dock vissa svårigheter att uppnå denna nivå under de vinterförhållanden som rådde under experimentets gång. Plantorna kan därför ha upplevt något varierade luftfuktighet under försökets gång som i viss mån påverkat tillväxten.

Ett fel som gjordes i detta experiment var att stam och blad inte vägdes var för sig, utan tillsammans. Detta omöjliggjorde användandet av flertalet av de tillgängliga beräkningsformlerna. Om dessa värden uppmätts hade även den relativa tillväxthastigheten (RGR) kunnat beräknas. Vid jämförelse av rötterna mellan de olika behandlingarna uppvisades dock ingen skillnad, vilket kan innebära att samma resultat hade uppvisats även om blad hade vägts åtskilda, det vill säga att ingen annorlunda fördelning av biomassan hade uppvisats.

Litteraturlista

6.1 Litteratur

- Adeniyani, O. N. Akande, S. R. Bologun, M. O. Saka, J. O. (2007). Evaluation of crop yield of African yam bean, maize and kenaf under intercropping systems. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science*, 2: 99-102.
- Altieri, M. A. ; Companioni, N. ; Canizares, K. ; Murphy, C. ; Rosset, P. ; Bourque, M. ; Nicholls, C. I. (1999). The greening of the "barrios": urban agriculture for food security in Cuba. *Agriculture and Human Values*, 16: 131-140.
- Ballaré, C. L. (1999). Keeping up with the neighbors: phytochrome sensing and other signaling mechanisms. *Trends in Plant Science*, 4:1360-1385.
- Ballaré, C. L. Sánchez, R. A. Scopel, A. Casal, J. J. Ghera, C. M. (1987). Early detection of neighbor plants by phytochrome perception of spectral changes in reflected sunlight. *Plant Cell and Environment*, 10: 551-557.
- Ballaré, C. L. Scopel, A. L. Sánchez, R. A. (1990). Far-red radiation reflected from adjacent leaves: An early signal of competition in plant canopies. *Science*, 247: 329-332.
- Baskin, C. C. Baskin, J. M. (1998). *Seeds : ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination*. Academic Press, San Diego
- Bergkvist, G. (2003). Effect of white clover and nitrogen availability on the grain yield of winter wheat in a three-season intercropping system. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science*, 53: 97-109.
- Braam, J. (2005). In touch: plant responses to mechanical stimuli. *New Phytologist*, 165: 373-389.
- Carruthers, K. Prithviraj, B. Fe, Q. Cloutier, D. Martin, R.C. Smith, D.L. (1999). Intercropping corn with soybean, lupin and forage: yield component responses. *European Journal of Agronomy*, 12: 103-115.
- Chang, M. Netzly, D. H. Butler, L. G. Lynn, D. G. (1986). Chemical regulation of distance: characterization of the first natural host germination stimulant for *Striga asiatica*. *Journal of the American Chemical Society*, 108: 7858-7860.
- Darwin, C. R. (1880). *The power of movement in plants*. London: John Murray.
- Dean, J. M. Smith, A. P. (1978). Behavioral and Morphological Adaptations of Tropical Plant to High Rainfall. *Biotropica*, 10: 152-154.
- Dicke, M. Bruin, J. (2001). Chemical information transfer between plants: back to the future. *Biochemical Systematics and Ecology*, 29: 981-994.
- Dudley, S. A. File, A. L. (2007). Kin recognition in an annual plant. *Biology letters*, 3: 435-438.
- Engelberth, J. Alborn, H. T. Schmelz, E. A. Tumlinson, J. H. (2004). Airborne signals prime plants against insect herbivore attack. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101: 1781-1785.
- Fujiwara, M. Oku, H. Shiraishi, T. (1987). Involvement of volatile substances in systemic resistance of barley against *erysiphe-graminis f-sp hordei* induced by pruning of leaves. *Journal of Phytopathology-Phytopathologische Zeitschrift*, 120: 81-84.
- Fukai, S. Trenbath, B. R. Processes determining intercrop productivity and yields of component crops. *Field Crops Research*, 34: 247-271.
- Ghosh, P. K. Manna, M. C. Bandyopadhyay, K. K. A. Tripathi, A. K. Wanjari, R. H. Hati, K. M. Misra, A. K. Acharya, C. L. Rao, A.S. (2006). Interspecific interaction and nutrient use in soybean/sorghum intercropping system. *Agronomy Journal*, 98: 1097-1108.
- Glinwood, R. Ninkovic, V. Pettersson, J. (2011) Chemical interaction between undamaged plants – effects on herbivores and natural enemies. *Phytochemistry*, 72: 1683-1689.
- Hatanaka, A. Kajiwara, T. Matsui, K. (1995). The biogeneration of green odor by green leaves and its physiological functions - past, present and future. *Zeitschrift für Naturforschung C-A Journal of Biosciences*, 50: 467-472.
- Heil, M. Adame-Álvarez, R. M. Short signaling distances make plant communication a soliloquy. *Biology Letters*, 6: 843-845.

- Heil, M. Karban, R. (2009). Explaining evolution of plant communication by airborne signals. *Trends in Ecology and Evolution*, 25: 137-144.
- Hoballah, M. E. Köller, T.G. Degenhardt, J. Turlings, C.J. (2004). Costs of induced volatile production in maize. *OIKOS*, 105: 168-180.
- Hokkanen . H. M. T. (1991). Trap cropping in pest management. *Annual review of entomology*, 36:119-38.
- Karban, R. Agrawal, A. A. Thaler, J. S. Adler, L. S. (1999) Induced plant responses and information content about risk of herbivory. *Trends in ecology & evolution*, 14: 443-447.
- Kurupparachchi, D. S. P. (1990). Intercropped potato (*Solanum* spp.): Effect of shade on growth and tuber yield in the northwestern regosol belt of Sri Lanka. *Field Crop Research*, 25: 61-72.
- Liu, D. L. Lovett, J. V. (1993). Biologically active secondary metabolites of barley. 1. Developing techniques and assessing allelopathy in barley. *Journal of Chemical Ecology*, 19: 2217-2230.
- López, M. L. Bonzani, N. E. Zygadlo, J. A. (2009). Allelopathic potential of *Tagetes minuta* terpenes by a chemical, anatomical and phytotoxic approach. *Biochemical Systematics and Ecology* 36: 882–890
- Lovett, J. V. Houlst A. H. C. (1995). Allelopathy and self-defense in barley. *American Chemical Society*, 1995: 170-183.
- Mérey, G. Veyrat, N. Mahuku, G. Lopez Valdez, R. Turlings, Ted C. J. D'Alessandro, M. (2011).Dispensing synthetic green leaf volatiles in maize fields increases the release of sesquiterpenes by the plants, but has little effect on the attraction of pest and beneficial insects. *Phytochemistry*, 72: 1838-1847.
- Midmore, D. J. (1993). Agronomic modification of resource use and intercrop productivity. *Field Crop Research*, 34:357-380.
- Midmore, D. J. Berrios, D. Roca, J. (1988). Potato (*Solanum* spp.) in the hot tropics V. intercropping with maize and the influence of shade on tuber yields. *Field Crops Research*, 18: 159-176.
- Milla, R. Forero, D. M. Escudero, A. Iriondo, J. M. (2009). Growing with siblings: a common ground for cooperation or for fiercer competition among plants? *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences*, 276: 2531-2540.
- Miller, S. S. Liu, J. Allan, D. L. Menzhuber, C. J. Fedorova, M. Vance, C. P. (2001). Molecular control of acid phosphatase secretion into the rhizosphere of proteoid roots from phosphorus-stressed white lupin. *Plant Physiology*, 127: 594-606.
- Minale, L. Tilahun, T. Alemayehu, A. (2001). Determination of nitrogen and phosphorus fertilizer levels in different maize-faba bean intercropping patterns in northwestern Ethiopia. *Seventh Eastern and Southern African Regional Maize Conference*, 513-518.
- Nasrullahzadeh, S. Ghassemi-Golezani, K. Javanshir, A. Valizade, M. Shakiba, MR. (2007). Effects of shade stress on ground cover and grain yield of faba bean (*Vicia faba* L.). *Journal of Food Agriculture & Environment*, 5: 337-340.
- Ninkovic, V. (2003). Volatile communication between barley plants affects biomass allocation. *Journal of Experimental Botany* 54: 1931-1939.
- Ninkovic, V. Olsson, U. Pettersson, J. (2002). Mixing barley cultivars affect aphid host plant acceptance in field experiments. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 122: 177-182.
- Novoplansky, A. (1991). Developmental Responses of *Portulaca* Seedlings to Conflicting Signals. *Oecologia*, 88: 138-140.
- Oswald, A. Ransom, J. K. Kroschel, J. Sauerborn, J. (2002). Intercropping controls *Striga* in maize based farming systems. *Crop Protection*, 21: 367-374.
- Pearce, F. (2001). An ordinary miracle - Bigger harvests, without pesticides or genetically modified crops? Farmers can make it happen by letting weeds do the work. *New Scientist*, 169: 16-17.
- Pettersson, J. Ninkovic, V. Ahmed, E. (1999) Volatiles from different barley cultivars affect aphid acceptance of neighboring plants. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil & Plant Science*, 49: 152-157.
- Pierik, R. Visser, E. J. W. De Kroon, H. Voesenek, L. A. C. J. (2003). Ethylene is required in tobacco to successfully compete with proximal neighbors. *Plant, Cell and Environment*, 26: 1229–1234.
- Quiroz, A. Pettersson, J. Pickett, J. A. Wadhams, L. J. Niemeyer, H. M. (1997). Semiochemicals mediating spacing behavior of bird cherry-oat aphid, *Rhopalosiphum padi*, feeding on cereals. *Journal of Chemical Ecology*, 23: 2599-2607.
- Rezaei-Chianeh, E. Dabbagh Mohammadin Nassab, A. Shakiba, M.R. Ghassemi-Golezani, K. Aharizad, S. Shekari, F. (2011). Intercropping of maize (*Zea mays* L.) and faba bean (*Vicia faba* L.) at different plant population densities. *African Journal of Agricultural Research*, 6: 1786-1793.
- Rezvani, M. Zaefarian, F. Aghaalkhani, M. Rahimian Mashhadi H. Zand, E. (2011). Investigation corn and soybean intercropping advantages in competition with redroot pigweed and jimsonweed. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 81: 350-352.

- Rodriguez-Saona, C. R. Rodriguez-Soana, L. E. (2009). Herbivore-induced volatiles in the perennial shrub, *Vaccinium corymbosum*, and their role in inter-branch signaling. *Journal of Chemical Ecology*, 35: 163–175.
- Ruther, J. Kleier, S. (2005). Plant-plant signaling: Ethylene synergizes volatile emission in *Zea mays* induced by exposure to (Z)-3-Hexen-1-ol. *Journal of Chemical Ecology*, 31: 2217-2222.
- Ryser, P. Labmers, H. (1995). Root and leaf attributes accounting for the performance of fast- and slow-growing grasses at different nutrient supply. *Plant and Soil*, 170: 251-265.
- Sanon, A. Andrianjaka, Z. N. Prin, Y. Bally, R. Thioulouse, J. Comte, G. Duponnois, R. (2009). Rhizosphere microbiota interferes with plant-plant interactions. *Plant and Soil*, 321: 259-287.
- Schmelz, E. A. Alborn, H. T. Tumlinson, J. H. (2003). Synergistic interactions between volicitin, jasmonic acid and ethylene mediate insect-induced volatile emission in *Zea mays*. *Physiologia Plantarum*, 117: 403-412.
- Schmitt, J. Dudley, S. A. Pigliucci, M. (1999). Manipulative Approaches to Testing Adaptive Plasticity: Phytochrome-Mediated Shade-Avoidance Responses in Plants. *American Naturalist*, 154: S43-S53.
- Silvertown, J. (1998). Plant phenotypic plasticity and non-cognitive behavior. *Trends in Ecology & Evolution*, 13: 255-256.
- Silvertown, J. Gordon, D. M. (1989). A framework for plant behavior. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 20: 349-366.
- Smith, H. (2000). Phytochromes and light signal perception by plants—an emerging synthesis. *Nature*, 407: 585-591.
- Sobkowicz, P. (2006). Competition between triticale (*Triticosecale* Witt.) and field beans (*Vicia faba* var. *minor* L.) in additive intercropping. *Plant Soil Environment*, 52: 47-54.
- Tadano, T. Sakai, H. (1991). Secretion of acid phosphatase by the roots of several crop species under phosphorus-deficient conditions. *Soil Science and Plant Nutrition*, 37: 129-140.
- Tscharntke, T. Thiessen, S. Dolch, R. Boland, W. (2007). Herbivory, induced resistance, and interplant signal transfer in *Alnus glutinosa*. *Biochemical Systematics and Ecology*, 29: 1025-1047.
- Turlings, T. C. J. Alborn, H. T. Loughtin, J. L. Tumlinson, J. H. (2000) Volicitin, an elicitor of maize volatiles in oral secretion of *Spodoptera exigua*: Isolation and bioactivity. *Journal of Chemical Ecology*, 26: 189-201.
- Wenxue, L. Long, L. Jianhao, S. Tianwen, G. Fusuo, Z. Xingguo B. An, Peng. C, T. (2004). Effects of intercropping and nitrogen application on nitrate present in the profile of an Orthic Anthrosol in Northwest China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 105: 483-491.

6.2 Personlig kommunikation

- Markovic, Dimitrij. (Doktorand, Ekologiinstitutionen, SLU).
- Ninkovic, Velemir. (Ekologiinstitutionen, Insekt-/Växtinteraktioner, SLU).
- Pettersson, Maj-Lis (Ekologiinstitutionen, Lantbruksentomologi, SLU).

6.3 Internet

- Nationalencyklopedin. (2012). Allelopati. <http://www.ne.se/allelopati> (hämtad 2012-06-10).
- Osram. (2012). OSRAM FLOURA. http://www.osram.se/osram_se/Kundservice&Verktvg/Broschyrrer/Allmaenbelysning/FLUORA.pdf (hämtad 2012-02-23).

Tackord

Först skulle jag vilja börja med att tacka min handledare Velemir Ninkovic som har gett mig möjligheten att få en första riktig inblick i forskningsvärlden med försöksupplägg, handledning med mera, hela vägen fram till ett färdigt examensarbete.

Dimitrij Markovic, I would like to thank you for helping me to familiarize myself with the *WinRHIZO* and for sharing your knowledge in your prior experiment.

Ett tack till alla medarbetare i labbet som under hela mitt experiment och analys har varit behjälpliga när det kommit till mina frågor och funderingar.

Carl "Calle" Åkerberg som har hjälpt till med krånglande belysning, tekniska frågor kring datorstyrningen av växthusen och flertalet andra saker som har behövs för att kunna genomföra experimenten under mitt exjobb.

Bernt Andersson på MEKÖL, SLU, som tog sig tid att hjälpa mig genomföra en analys med spektrofotometer på plastmaterialet i exponeringskammarna.

Bilaga 1, Dagbok

Försöksdagbok

Dag -1 (5/11 lördag)

Bönorna blötlades.

Dag 0 (6/11 söndag)

Plantering av majs och bönor i Hasselfors Special. Dessa krukor placerades i samma växthus som där experimentet sedan utfördes. I detta växthus finns belysning samt luftfuktning.

Dag 1-8 (7-13/11)

Kontroll och bevattning vid behov.

Dag 9 (15/11 tisdag)

Plantorna placerades i burarna enligt försöksupplägget med randomiseringen inom leden. Ett fåtal av majsplantorna bladspetsar uppvisade dock en tendens till vissning.

Dag 10 (16/11 onsdag)

Kontroll av bevattningen, plantorna vilar från gårdagens insättning i burarna.

Dag 11, 12(17-18/11 torsdag, fredag)

Pensling.

Dag 13 (19/11 lördag, söndag)

Pensling. Provtagning: 12 dagars.

Dag 14,15 (20-21/11 måndag, tisdag)

Pensling.

Dag 16 (22/11 onsdag)

Pensling. Provtagning: 15 dagars.

Dag 17,18 (23-24/11 torsdag, fredag)

Pensling.

Dag 19 (25/11 fredag)

Pensling. Provtagning: 18 dagars.

Dag 20, 21 (26-27/11 lördag, söndag)

Pensling.

Dag 22 (28/11 måndag)

Pensling. Provtagning: 21 dagars.

Bilaga 2, Hasselfors Garden – Special

Eget recept

Hasselfors Garden Mosås

Kund, namn: **SLU**
Inst för växtprod. Ekologi
 Ort: **UPPSALA**
 Kundnr: **451986**
 Recept art nr: **S2005517**
 Användning: **Plantering div. växter**

Datum: **2011-12-01**
 Lev vecka: **V. 49**
 Ordernr: **SO 21393**
 Fabrik: **MO**

Kopia av tidigare order nr
 Godkänt: **CSB / 11 02 04**

Godkänt per tel:
 Säljare: **bte/HBL**
 Mängd, m3: **6**
 Artikeltyp: **Special 50 lit**
 Antal säck(ca): **120**
 Antal pall (39/pl):
 Antal storsäck:

Övrigt:
 Text på säck:

Dokumenterade kundkrav
 Siktning: **Normal (Fin - Med)**
 Fuktas: **Ingen tillsats**

| Råvaror | | Volym innehåll | |
|-----------|-------------------------|----------------|-----------|
| SFM72850 | Blocktorv, riven | | |
| SFM72800 | Ljus torv, normalsiktad | 60 | % |
| SFM72802 | Ljus torv, finsiktad | | |
| S72805 | Master 2 - 10 mm | | |
| S72806 | Master 2 - 35 mm | | |
| SFM72904 | Mörk torv | | |
| SFM001Mos | Svarttorv,grävd | 25 | % |
| S72861 | Fibertorv | | |
| S72950 | PeatNuggets | | |
| S72961 | Sand 0,5 - 4 mm | 15 | % |
| S74001 | Leca 2 - 6 mm | | |
| S74010 | Perlit 0,5 - 6 mm | | |
| S73001 | Bark 0 - 10 mm | | |
| S73003 | Bark 10 - 40 mm | | |
| S7302 | Baralith GSP stenmjöl | | kg |
| | | | kg |
| S7304 | Granulerad lera | | kg |

Tillsatser per kubikmeter

| | | | |
|-------|----------------------------|--------------|-----|
| S7470 | Pelleterad höngödsel | | kg |
| S7467 | PG-/Multimix 14-7-15 | 1,30 | kg |
| S7450 | Kalksalpeter, N 15 | | kg |
| S7478 | Superfosfat, P 20 | | kg |
| S7468 | NPK 11-5-18 mikro | | kg |
| S7473 | FTE 36/Multispor | 0,050 | kg |
| S7477 | Järnsulfat | | kg |
| S7480 | Algea Fert Meal (Vialgin) | | kg |
| S7464 | Kalkstensmjöl | 4,5 | kg |
| S7464 | Dolomitmjöl | 2,0 | kg |
| S7469 | Gips, S 20 | | kg |
| S7482 | Multicote mikro 4 mån | | kg |
| S7484 | Multicote mikro 8 mån | | kg |
| | | | kg |
| | | | kg |
| | | | kg |
| S7487 | Restart Fosfit(Proalexin) | | lit |
| S7488 | Vätmedel normaldos | | dos |
| | | | kg |
| | | | kg |
| | | | kg |

Version: CSB/10 12 03

| Summa Totalt | |
|----------------|--------------|
| NO3 - N | 71,5 |
| NH4 - N | 110,5 |
| Organ.N | 0 |
| Total N | 182 |
| P | 91 |
| K | 195 |
| Mg | 185,2 |
| Ca | 1485 |
| SO4 - S | 102,7 |
| Fe | 5,67 |
| Mn | 3,28 |
| B | 0,64 |
| Cu | 2,56 |
| Zn | 1,52 |
| Mo | 1 |

Bilaga 3, Randomiseringen av försöket

Upplägget på försöket

| 1 | MeB_b | MEMn | MeM_b | MEBn | Mkontroll |
|---------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| <i>så vidare...</i> | B_b | Mn | M_b | Bn | - |
| 2 | Mkontroll | MeB_b | MEBn | MEMn | MeM_b |
| 3 | MEMn | MEBn | Mkontroll | MeM_b | MeB_b |
| 4 | MEBn | MeM_b | MeB_b | Mkontroll | MEMn |
| 5 | MeM_b | MeB_b | MEBn | Mkontroll | MEMn |
| 6 | Mkontroll | MEBn | MEMn | MeB_b | MeM_b |
| 7 | MEMn | Mkontroll | MeB_b | MeM_b | MEBn |
| 8 | MEBn | MeM_b | MEMn | MeB_b | Mkontroll |
| 9 | MeB_b | MEBn | Mkontroll | MeM_b | MEMn |
| 10 | MEMn | MeB_b | MEBn | MeM_b | Mkontroll |
| 11 | MeB_b | MeM_b | MEMn | MEBn | Mkontroll |
| 12 | MEMn | MEBn | Mkontroll | MeM_b | MeB_b |
| 13 | Mkontroll | MEBn | MeM_b | MeB_b | MEMn |
| 14 | MEBn | MEMn | MeB_b | Mkontroll | MeM_b |
| 15 | MeM_b | MEMn | MeB_b | Mkontroll | MEBn |
| 16 | MeM_b | Mkontroll | MEBn | MeB_b | MEMn |
| 17 | MEBn | MeM_b | Mkontroll | MEMn | MeB_b |
| 18 | MeM_b | Mkontroll | MEBn | MEMn | MeB_b |
| 19 | MEMn | Mkontroll | MeB_b | MeM_b | MEBn |
| 20 | MeB_b | MEMn | MeM_b | Mkontroll | MEBn |

Fotnot

Kammare 1 Kammare 2

| | | |
|------------|------------------|--|
| B_b | MeB_b | Majs exponerats för VOC från Bönor_borstad |
| Bn | MEBn | Mans exponerats för VOC från Bönor orörd |
| M_b | MeM_b | Majs exponerats för VOC från Majs_berörd |
| Mn | MEMn | Majs exponerats för VOC från Majs orörd |
| | Mkontroll | Kontroll |