



Sveriges lantbruksuniversitet  
Swedish University of Agricultural Sciences

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds-  
och växtproduktionsvetenskap

# Agroforestry i tempererat klimat – identifiering av kunskapsbehov och hypotesformulering för framtida forskning

Agroforestry in a temperate climate – identification of knowledge gaps  
and formulation of hypotheses for future research

*Tove Sundström*



# **Agroforestry i tempererat klimat – identifiering av kunskapsbehov och hypotesformulering för framtida forskning**

Agroforestry in a temperate climate – identification of knowledge gaps and formulation of hypothesis for future research

*Tove Sundström*

**Handledare:** Maria Ernfors, SLU, Institutionen för biosystem och teknologi

**Examinator:** Linda-Maria Dimitrova Mårtensson, SLU, Institutionen för biosystem och teknologi

**Omfattning:** 15 hp

**Nivå och fördjupning:** G2E

**Kurstitel:** Självständigt arbete i biologi, G2E

**Kurskod:** EX0855

**Program/utbildning:** Hortonomprogrammet

**Utgivningsort:** Alnarp

**Utgivningsår:** 2019

**Omslagsfoto:** Tove Sundström

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

**Nyckelord:** *SAFE, alléodling, kolinlagring, nutrient pump, safety net hypothesis, läckage, mikroklimat, biomassa, beskärning*

SLU, Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap

Institutionen för biosystem och teknologi

## **Förord**

Jag vill först och främst tacka min handledare Maria Ernfors, vars entusiasm och uppmuntran hela tiden har bidragit till motivation och intresse. Ryan Davidson och Erik Rasmusson ska ha tack för att de har svarat på mina många frågor, och Johannes Albertsson för att han hjälpt mig tolka klimatdata. Jag vill också tacka mina fina klasskompisar för sällskap och stöd; när våren pågick utanför biblioteket så tog ni in den till mig!

Denna studie har möjliggjorts av SITES (Swedish Infrastructure for Ecosystem Science), i det här fallet Lönnstorps forskningsstation.

## **Sammanfattning**

Jordbruket behöver göras mer motståndskraftigt under ett klimat som är föränderligt, och negativ miljöpåverkan orsakad av jordbruk, exempelvis näringsläckage, utsläpp av växthusgaser och markerosion, behöver samtidigt minskas. I detta arbete presenteras agroforestry (medvetet användande av träd- och buskar på betes- och jordbruksmark) i tempererat klimat som jordbruksstrategi för att möta dessa behov, med stöd i det långliggande fältexperimentet SITES Agroecological Field Experiment (SAFE). Den inneboende komplexiteten inom agroforestrysystem diskuteras, med syftet att identifiera vilka områden som är i störst behov av ytterligare forskning, samt att föreslå hypoteser som kan prövas vetenskapligt inom SAFE. Kolinlagring, underjordisk interaktion, förvaltning av näring och vatten, samt skuggningseffekter och effekt av vindskydd är områden som har valts ut som huvudsakliga för vidare forskning, och kommer diskuteras i denna uppsats. Hypoteser som presenteras behandlar en ökad kolinlagringskapacitet inom alléodling och kopplar denna till en ökad produktion av biomassa och minskad nedbrytningshastighet, samt ökad marknäring och -fukt, genom närvaron av träd och ett förändrat, mer fördelaktigt mikroklimat.

## **English summary**

Agriculture needs to be made more resistant under a climate that is changing, and negative environmental impacts caused by agriculture, such as nutrient leakage, greenhouse gas emissions and marker erosion, need to be reduced simultaneously. In this work, agroforestry (the deliberate use of trees and bushes on pastures and agricultural land) in temperate climate will be presented as a farming strategy to meet these needs, supported by the long-term field experiment SITES Agroecological Field Experiment (SAFE). The inherent complexities in agroforestry systems are discussed with the aim of identifying which areas are in the greatest need of further research, as well as proposing hypotheses that can be tested scientifically within SAFE. Carbon storage, belowground interactions, nutrient and water management, and shadow and windbreak effects are areas that have been chosen as central for further research, and these areas will be discussed in this essay. Hypotheses that are presented treat subjects as increased carbon storage capacity within alley cropping systems in regards to an increase in biomass production and a decrease in decomposition rates, augmented levels of soil moisture and nutrients, as well as a modified beneficial microclimate due to the present of trees and shrubs.

# Innehållsförteckning

|                                                                    |           |
|--------------------------------------------------------------------|-----------|
| Sammanfattning .....                                               | 3         |
| English summary .....                                              | 3         |
| <b>1. Introduktion.....</b>                                        | <b>6</b>  |
| <b>1.1 Bakgrund .....</b>                                          | <b>6</b>  |
| <b>1.1.1 Definition av ‘agroforestry’ .....</b>                    | <b>6</b>  |
| <b>1.2 Syfte och frågeställning.....</b>                           | <b>7</b>  |
| <b>1.3 Avgränsningar.....</b>                                      | <b>7</b>  |
| <b>2. Metod och material.....</b>                                  | <b>7</b>  |
| <b>2.1 Litteraturstudie .....</b>                                  | <b>7</b>  |
| <b>2.2 Övrig informationsinhämtning.....</b>                       | <b>8</b>  |
| <b>2.3 Odlingssystemförsöket SAFE .....</b>                        | <b>8</b>  |
| <b>2.3.1 Agroforestrysystemet inom SAFE .....</b>                  | <b>9</b>  |
| <b>2.3.2 Artsammansättning i träd- och häckrader.....</b>          | <b>9</b>  |
| <b>2.3.3 Skötsel och mätningar .....</b>                           | <b>10</b> |
| <b>3. Resultat.....</b>                                            | <b>11</b> |
| <b>3.1 Kolinlagring .....</b>                                      | <b>11</b> |
| <b>3.1.1 Vad vi vet.....</b>                                       | <b>11</b> |
| <b>3.1.2 Vad vi inte vet .....</b>                                 | <b>12</b> |
| <b>3.1.3 Hur agroforestrysystemet inom SAFE kan användas .....</b> | <b>13</b> |
| <b>3.1.4 Förslag till hypoteser .....</b>                          | <b>14</b> |
| <b>3.2 Rotsystem, näring &amp; vatten .....</b>                    | <b>14</b> |
| <b>3.2.1 Vad vi vet.....</b>                                       | <b>15</b> |
| <b>3.2.2 Vad vi inte vet .....</b>                                 | <b>15</b> |
| <b>3.2.3 Hur agroforestrysystemet inom SAFE kan användas .....</b> | <b>17</b> |
| <b>3.2.4 Förslag till hypoteser .....</b>                          | <b>18</b> |
| <b>3.3 Skuggning .....</b>                                         | <b>19</b> |
| <b>3.3.1 Vad vi vet.....</b>                                       | <b>19</b> |
| <b>3.3.2 Vad vi inte vet .....</b>                                 | <b>20</b> |
| <b>3.3.3 Hur agroforestrysystemet inom SAFE kan användas .....</b> | <b>20</b> |
| <b>3.3.4 Förslag till hypoteser .....</b>                          | <b>21</b> |
| <b>3.4 Vindskydd.....</b>                                          | <b>22</b> |
| <b>3.4.1 Vad vi vet.....</b>                                       | <b>22</b> |
| <b>3.4.2 Vad vi inte vet .....</b>                                 | <b>23</b> |
| <b>3.4.3 Hur agroforestrysystemet inom SAFE kan användas .....</b> | <b>23</b> |
| <b>3.4.4 Förslag till hypoteser .....</b>                          | <b>24</b> |

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| <b>4. Diskussion</b> .....        | 24 |
| <b>4.1 Metod</b> .....            | 24 |
| <b>4.1.1 Val av områden</b> ..... | 25 |
| <b>4.3 Hypoteser</b> .....        | 26 |
| <b>5. Slutsatser</b> .....        | 30 |
| <b>6. Referenser</b> .....        | 31 |
| <b>Opublicerat material</b> ..... | 36 |

# 1. Introduktion

## 1.1 Bakgrund

Klimatet förändras och behovet av att producera mat till en ökad befolkning blir större, samtidigt som jordbrukets inverkan på mark, skog och vatten också växer (Schoeneberger et al 2012). Historiskt sett har produktionen av mat ökats genom expansion av jordbruksmark och förhöjning av insatser såsom vatten och kemikalier, och konsekvenserna för miljön har varit omfattande negativa (Foley 2011). Idag behövs integrerade lösningar som tar hänsyn till ett flertal faktorer vid sidan av en ökad produktion, nämligen en minskning av koldioxidutsläpp och minskad avskogning, en effektiv förvaltning av näring, ökad biodiversitet och fler habitat för pollinatörer och nyttoinsekter, samt rening av vatten och minskande av erosion och degradering av mark (Foley 2011; Smith 2012).

Agroforestry, ett multifunktionellt odlingssystem som inkorporerar lignoser (vedartade växter) tillsammans med jordbruksgrödor, kan eventuellt vara en sådan integrerad lösning. Samtidigt som ett agroforestrysystem har en inbyggd motståndskraft mot klimatförändringar genom en ökad diversitet kan flertalet negativa konsekvenser som uppstår i konventionellt jordbruk motverkas (Smith 2012), och samtidigt som produktionen ökar, bevaras viktiga ekosystemtjänster (Lovell et al 2017).

Forskningen gällande agroforestry i tempererat klimat är begränsad, och innehåller många kunskapsluckor som återstår att fyllas. Eftersom experiment ibland kräver kontrollsystem för samtliga ingående komponenter, åtminstone i jämförelser med monokulturer, blir studier som innefattar interaktioner mellan fler än två arter komplicerade att genomföra, och tilltar i storlek (Lovell et al 2017). I systemexperimentet SITES Agroecological Field Experiment (SAFE) ingår en alléodling inom vilken studier över agroforestrysystemets dynamik bedrivs.

### 1.1.1 Definition av 'agroforestry'

Agroforestry definieras som den avsiktliga användningen av vedartade perenner, det vill säga träd och buskar, på betesmarker eller tillsammans med jordbruksgrödor. Begreppet agroforestry innefattar ett antal kategorier som beskriver en specifik funktion eller uppsättning av lignoser inom ett odlingssystem eller en betesmark, exempelvis 'alley cropping' eller alléodling där träd placeras i rader på jordbruksmark, 'silvopasture' där träd och buskar

planteras på betesmarker, samt 'riparian buffer strips', där häckar eller träd placeras längs vattendrag för att motverka ytavrinning och näringsläckage (FAO 2015).

Som jordbruksstrategi beskrivs agroforestry som en metod för att bibehålla, eller i vissa fall öka, produktionen av mat under förändrade klimatförhållanden (Plante et al 2014). Agroforestry kan beskrivas med de svenska begreppen skogsjordbruk eller trädjordbruk (Agroforestry Sverige, u.å). Agroforestry är den benämning som kommer att användas i detta arbete.

## **1.2 Syfte och frågeställning**

De frågeställningar som arbetet utgår ifrån är "vilka kunskapsluckor finns kring agroforestrysystem i tempererade klimat?", "vilka områden är av störst vikt att undersöka?", samt "hur kan dessa områden undersökas inom SAFE?". Syftet med detta kandidatarbete är ta fram hypoteser som kan prövas vetenskapligt inom SAFE på Lönnstorp, och bidra till utvecklingen av agroforestrysystemet.

## **1.3 Avgränsningar**

De ekonomiska och sociala effekterna av agroforestrysystem är intressanta, men kommer inte behandlas i detta arbete på grund av att de inte ryms inom arbetets ramar. Andra centrala resonemang inom agroforestry, exempelvis rörande mekanisering och produktionskostnader, kommer heller inte att behandlas av samma skäl.

# **2. Metod och material**

## **2.1 Litteraturstudie**

Detta kandidatarbete har utförts som en litteraturstudie, inledningsvis genom systematiskt informationssökande med hjälp av olika sökmotorer (exempelvis Google Scholar, SLU Primo och Web of Science). Exempel på sökord är "agroforestry", "temperate", "alley cropping", "safety net theory", "nitrogen fixation" och "root interactions". Prioritering och sortering av källor rörde bland annat källans ålder, då nytt material prioriterades över äldre material, men i flertalet fall har äldre källor använts på grund av att urvalet är begränsat. Denna begränsning som finns inom materialet har också fungerat som en del av urvalsmetoden, samt det faktum



att det som ännas identifieras är just kunskapsluckor; dessa två faktorer skapar ramar inom vilka materialet har tagits fram. En ytterligare sortering bland ämnesområden har gjorts baserat på vilka aspekter inom agroforestry som jag har uppfattat som tydligt huvudsakliga, exempelvis beroende på ämnets allmängiltighet samt ämnets komplexitet. Motivering till dessa urval kommer att diskuteras under avsnitt 4.1.

Materialet har sedan sammanställts för att identifiera de områden där kunskap saknas för agroforestrysystem i tempererade områden, för att mynna ut i formuleringen av inom SAFE testbara hypoteser.

## **2.2 Övrig informationsinhämtning**

Information har även insamlats genom samtal med ett antal av de på SLU anställda forskare som tidigare arbetat, eller som nu arbetar, med det långliggande fältexperimentet SAFE på Lönnstorp. Underlag har också insamlats genom att ta del av skisser över försöket, samt genom besök på experimentområdet.

## **2.3 Odlingssystemförsöket SAFE**

På försöksstationen Lönnstorp (belägen mellan Malmö och Lund) bedrivs det långliggande systemexperimentet SITES Agroecological Field Experiment (SAFE), där fyra olika odlingssystem för närvarande upprätthålls och studeras.

Jordmänen inom försöksytorna för SAFE består av moränlättilera (18 procent ler i medeltal). Fält C innehåller en större mängd sand än övriga fält, och ytan med fält C, B och D sluttar lätt mot sydost. Matjordens pH-värde är mätt till 6,5 och kvoten mellan kol och kväve uppskattas till 9,0. Mängden organiskt material utgör 2,3 procent av matjorden (pers. kom, Maria Ernfors, SLU). Genomsnittlig nederbörd mellan år 2016 och 2018 var 573 mm, och temperaturmedelvärde för samma period var 9,4 °C (Sveriges Lantbruksuniversitet 2019).

Lönnstorp är en del av Swedish Infrastructure for Ecosystem Sciences (SITES) – en nationell infrastruktur bestående av nio försöksstationer. SAFE är ett randomiserat blockförsök, där varje system är replikerat fyra gånger. De fyra odlingssystemen utgörs av ett system med perenna cerealier, ett ekologiskt system, ett referenssystem (där konventionell odling bedrivs), samt ett agroforestrysystem med alléodling. Det sistnämnda systemet utgör kulissen för detta arbete.

### 2.3.1 Agroforestryssystemet inom SAFE

Agroforestryssystemet och det ekologiska systemet på Lönnstorp har samma växtföljd. Agroforestryssystemet utmärker sig endast genom att det innehåller rader av häck, samt rader av äppelträd, ordnade i alléer över jordbruksfälten. Växtföljden är åttaårig och inkluderar ettåriga perioder av vallodling. Vallen, som består av rörsvingel, rödklöver och vitklöver (två sorter), blåusern, timotej och engelskt rajgräs, sås in tillsammans med höstvetete och får stå kvar i fält efter skörd. Under första året odlas vårkorn med lupin som mellangröda, och under hösten sås råg. Följande sommar sås vall in hos höstrågen och får sedan stå kvar efter skörd. Vallen står kvar i ett år, då den bryts för sådd av sockerbeta. När sockerbeta skördats ligger marken bar mellan november och april, sedan sås vårvete med åkerböna som mellangröda. Under hösten samma år sås raps tillsammans med luddvicker som mellangröda, och under hösten därpå sås en sortblandning av höstvetete. Tillsammans med höstvetete sås vall in igen (se bilaga 1 för växtföljd inom SAFE).

Inom varje agroforestryfält på Lönnstorp finns tre rader med häck, samt fyra rader med äppelträd (se bilaga 2 för schematisk bild av träd- och häckplacering). Raderna med äppelträd är ordnade så att tre träd av samma sort är planterade i led tills dess att fältkanten nås, då följderna fortsätter i nästa trädrad. Bredden på samtliga rader med lignoser är 2 meter, och under träd och buskar växer för närvarande gräs och klöver som spridit sig från vallodlingen. Marken närmast träden och buskarna täcks med halm i ett försök att öka markfukten och motverka förekomst av ogräs. Halm kommer främst att användas på detta sätt under etableringsfasen för träd och buskar. På Lönnstorp är lignoser orienterade i nordlig till sydlig linje i block A, och nordöstlig till sydvästlig riktning i övriga block (B, C, D) (se bilaga 3 för schematisk bild av blocken). Planerad maximal höjd för äppelträden och häckarna är cirka 3 till 4 meter.

### 2.3.2 Artsammansättning i träd- och häckrader

Det som utmärker en alléodling är remsor bestående av antingen träd eller häck som fungerar som vindsydd, habitat för nyttoorganismer och för ökad biodiversitet samt minskad erosion (Constandache et al 2016; Jose 2009). De arter som odlas i systemet i Lönnstorp är fläder (*Sambucus nigra*, körsbärspplommon (*Prunus Cerasifera* samt *Prunus Cerasifera* 'Cecilia'), sälg (*Salix caprea*), häckoxel (*Sorbus mougeotii*), blåbärstry (*Lonicera caerulea*, sorterna *L. caerulea* 'Ezochi' och *L. caerulea* 'Stubbaröd'), havtorn (*Hippophae rhamnoides*) samt äpple (*Malus domestica* var. 'Topaz', 'Santana', samt 'Amorosa', med grundstam M7).

De sorter av äppelträd som valts ut varierar i sjukdomsresistens, vilket används som metod för att öka den generella sjukdomsresistensen inom fältet (pers. kom, Ryan Davidson, SLU). Grundstammen M7 är motståndskraftig mot päronpest och visar också motstånd mot rot- och rothalsvampar (Tahir 2014). I agroforestrysystemet inom SAFE finns intresse för att studera interaktioner som sker i rotzonen, samtidigt som intensiv konkurrens mellan lignoser och jordbruksgrödor önskas undvikas; grundstam M7 har en medelkraftig tillväxt och har därför valts ut till äppelträden.

Havtorn har inkluderats i systemet för sina kvävebindande egenskaper; havtorn bildar en symbios med jordlevande bakterier från klassen *Frankia* sp., tillhörande fylumet Aktinobakterier (också kallat Aktinomyceter) (Pawlowski & Bergman 2007). Detta samarbete ger havtorn förmågan att binda in kväve i noder kring rötterna, en egenskap som är gynnsam för närliggande växtrötter eftersom kvävetillgången i marken ökar när dessa rötter och noder bryts ner.

Inom agroforestrysystemet på Lönnstorp odlas mat för att studera odlingssystem och grödor som eventuellt kan möta framtidens behov (pers. kom, Maria Ernfors, SLU). Prioritering av fokus på matproduktion ger skäl till beslutet om att inkludera fruktträd och bärbuskar i experimentet som ett alternativ till träd som odlas för timmer eller bioenergi (pers. kom, Erik Rasmusson, SLU).

### **2.3.3 Skötsel och mätningar**

Agroforestrysystemet på Lönnstorp sköts enligt principerna för ekologisk odling, vilket innebär att kemiska medel inte används för ogräsbekämpning; i stället sker mekanisk bekämpning genom plöjning. Plogdjupet är på 20–25 cm, och detta är en åtgärd som även är avsedd för att tvinga ner rötter hos träd och buskar på djupet i ett försök att avhålla kolonisering av matjorden (pers. kom, Maria Ernfors, SLU).

Den vall som odlas i systemet bryts och säljs som foder. Jordberga biogasanläggning förser Lönnstorp med rötresten i mängder som motsvarar den skördade vallen. Rötresterna används som gödselmedel på våren, och då de träd och buskar som ingår i systemet vuxit sig större kommer troligen även sly från beskärning att återföras till systemet (pers. kom, Maria Ernfors, SLU; Erik Rasmusson, SLU).

På SITES Lönnstorp görs mätningar över skörd, jordegenskaper, nederbörd, PAR (fotosyntetiskt aktiv strålning), markvattenhalt, och marktemperatur. Utöver detta görs också

ett antal spektrala mätningar från utplacerade master, exempelvis mätningar över nära infraröd strålning, kortvågig infraröd strålning samt ljus inom det synliga spektrumet (SITES 2018). Drönare används för att samla in ljusdata för jämförelse med data insamlad från master.

### **3. Resultat**

Detta avsnitt innefattar ett urval av ämnesområden inom agroforestry, en sammanfattning av kunskap inom vart och ett av dessa områden, samt inom vilka områden de huvudsakliga kunskapsluckorna identifierats. Inom varje område dras även paralleller till agroforestrysystemet inom SAFE, där det konkretiseras hur experimentet kan nyttjas för att söka svar inom de områden där befintlig forskning är bristfällig. För varje avsnitt presenteras och motiveras även ett antal hypoteser som kan prövas vetenskapligt inom SAFE.

#### **3.1 Kolinlagring**

Koldioxid, en av de gaser som bidrar till klimatförändringar, frigörs till atmosfären genom en rad olika mänskliga aktiviteter (Nair et al 2009). Ett exempel på sådan mänsklig aktivitet är jordbruk, i synnerhet då anläggningen av ny jordbruksmark följer efter avskogning (Foley 2011). Avskogning innebär att kol i marken frigörs, och därmed påverkas även atmosfärens koldioxidhalter. Att effektivisera befintliga jordbruksområden genom att föra in lignoser och perenner på åkermarken är ett medel för att minimera negativ miljöpåverkan (Nair et al 2009; Foley 2011).

##### **3.1.1 Vad vi vet**

Kolinlagring definieras som avlägsnandet av koldioxid från atmosfären genom biologisk eller fysisk fixering i så kallade kolsänkor, så som organiskt material i jord (Jose 2009), och kolinlagringskapaciteten inom ett fält bestäms av mängden kol som upptas, samt mängden kol som frigörs, exempelvis genom nedbrytning (Nair et al 2009).

Fält som inkluderar träd och andra perenner har en ökad kolinlagringskapacitet eftersom livscykeln för denna växttyp spänner över flertalet odlingsår. Grova, ligninnehållande rötter bryts ner långsammare än tunna rötter, vilket innebär att vedartade, perenna växter bidrar med högre halter kol till marken, under en längre tidsperiod.

Ett odlingssystem bestående av enbart annueller, som har en kortare livscykel än perenner, har en lägre kolinlagringskapacitet och är därför inte lika effektiva som kolsänkor. Eftersom skörd och sådd av annuella grödor sker med kortare intervaller frigörs kol till atmosfären oftare, då jorden störs. Hos det varaktiga, perenna rotsystemet är skillnaden mellan pågående nedbrytning och pågående tillväxt inte lika stor som i det annuella rotsystemet (Nair et al 2009).

Förmågan att binda kol i agroforestrysystem beror också på systemets typ, placeringen av träd och beståndens täthet, samt artsammansättningen. Schroeder (1994) skriver att längden på trädets livscykel (tiden mellan plantering och avverkning) också ökar kolinlagringskapaciteten. Ytterligare en aspekt som bidrar till ökad inlagring av kol i denna typ av system är det faktum att träd, buskar och perenna gräs påbörjar fotosyntes innan sådden av annuella jordbruksgrödor, och därigenom förlänger den period då ett odlingssystem lagrar in kol i mark och biomassa (Udawatta och Jose 2012).

Schroeder (1994) beskriver också, i likhet med Nair et al (2009) och Jose (2009), att nettokolinlagringskapaciteten för ett agroforestrysystem beror av det system vilket det ersätter. Degraderad och icke-produktiv mark, betesmark och mark under konventionell odling har som störst potential för ökad kolinlagring vid etableringen av träd och buskar som samodlingsväxter, detta för att integrering av lignoser minskar erosion och ökar näringsutnyttjandet inom odlingsytan. Integrering av lignoser på dessa typer av mark innebär också en ökning i mängden organiskt material som finns på platsen, vilket innebär att det finns en hög potential för ökad kolinlagring när degraderad mark blir planterad med buskar eller träd.

### **3.1.2 Vad vi inte vet**

Udawatta och Jose (2012) identifierar en brist på data över ovanjordisk och underjordisk biomassa för träd och buskar som odlas i agroforestrysystem som ett hinder för fullgod planering av agroforestrysystem. Data över biomassa finns för många busk- och trädarter, men främst är den insamlad från konventionella trädodlingar. Björklund et al (2018) skriver att även data över skörd från fruktträd och bärbuskar då dessa odlas inom agroforestrysystem saknas. Då vedartade perenner används i agroforestrysystem växer de under andra konkurrensförhållanden och får därför ett annorlunda utseende (Udawatta och Jose 2012); en studie av Lovell et al (2018) påvisade att valnötsträd odlade i agroforestrysystem tillsammans

med höstvetete blev både större och mer livskraftiga i jämförelse med träd som odlades i monokulturer. Variation i utseende och rotdistribution kan bero av olika konkurrensundvikande strategier, exempelvis reagerar olika arter på olika sätt under torka, samt på förändringar i fosfor- och kväveinnehållet i marken, men reaktioner kan också variera inom en och samma art beroende på den specifika individens genotyp (Bardgett et al 2014). Denna plasticitet understryker också vikten av att studera rotsystem inom olika bestånd; egenskaper hos rötter kan variera stort inom en och samma art och påverkas av flera faktorer, exempelvis interaktioner i rotzonen och placering av näring och vatten i marken (Bardgett et al 2014; Borden et al 2017).

Produktionen av biomassa påverkar kolinlagringen. Plante et al (2014) bekräftar att rotdistributionen hos träd som växer i naturliga ekosystem kan skilja sig åtskilligt från rotdistributionen träd som odlas i agroforestrysystem.

### **3.1.3 Hur agroforestrysystemet inom SAFE kan användas**

Data över biomassa för lignoser som växer i agroforestrysystem är bristfällig. Att beskriva biomassan hos de arter som ingår i träd- och häckrader inom SAFE för att jämföra med data som insamlats från konventionella trädodlingar kan bidra till en bättre förståelse av hur tillväxtmönster hos lignoser påverkas av systemets utformning och skötsel, samt för att eventuellt kunna förutse hur kolinlagringen påverkas. I framtiden, då systemen inom SAFE är äldre, kommer förändringar i kolinlagring i marken att mätas genom jordprovtagning (pers. kom, Maria Ernfors, SLU). Tills dess är det eventuellt möjligt att utveckla modeller för kolinlagring genom att utgå från tillväxtmönster hos de lignoser som ingår i systemet.

Det är vanligtvis enbart en art av träd som ingår i agroforestrysystem i tempererat klimat, och syftet är mestadels produktion av biomassa (Wolz och DeLucia 2017). Emellertid finns det fördelar med att öka diversiteten inom lignoskomponenten av ett samodlingssystem, vilket har gjorts i agroforestrysystemet inom SAFE, eftersom detta kan leda till en ökad skörd av bär och frukt jämfört med då trädarter odlas enskilt. Björklund et al (2018) skriver att träd med en lång livscykel är viktigt inom agroforestry, särskilt när sådana system implementeras för att minska miljöpåverkan från jordbruk. Livslängden hos de träd som odlas inom SAFE är ungefär 20 år (pers. kom. Maria Ernfors, SLU).

### 3.1.4 Förslag till hypoteser

*I. Äppelträd som odlas inom SAFE har en högre kolinlagringskapacitet jämfört med träd som odlas i konventionella äppelodlingar, på grund av en högre produktion av biomassa.*

Grundstammen M7 som används för äppelträd inom SAFE växer kraftigare än de grundstammar som vanligtvis används inom konventionella äppelodlingar, vilket bör leda till en bättre kolinlagring per ytenhet av äppelodling. Äppelträd som odlas inom agroforestrysystemet på SAFE står också under mindre konkurrens om ljus, och eventuellt även om näring och vatten, vilket leder till en högre fotosyntetisk aktivitet. Jämförelser bör dock göras med en konventionell äppelodling där grundstam M7 eller en liknande används för att en korrekt liknelse ska åstadkommas.

*II. Klimatet i marken är mindre gynnsamt för nedbrytning i agroforestrysystemet inom SAFE, i jämförelse med det ekologiska systemet.*

Två huvudsakliga faktorer som bestämmer hastigheten för nedbrytning av organiskt material är marktemperatur och markfukt. Då markfuktigheten är väldigt hög hämmas nedbrytande mikroorganismer av otillräcklig syretillgång, och då fuktigheten i marken är låg hämmas de istället av brist på vatten. Högre temperaturer påskyndar nedbrytning, medan väldigt hög temperatur kan orsaka vattenbrist genom torka (Eriksson et al 2011). Lignoser sänker marktemperaturen genom att skugga fältet och ökar samtidigt upptaget av vatten från marken genom djupgående rötter; särskilt under sensommar och höst efter skörd av jordbruksgrödan. Närvaron av lignoser bidrar alltså till att agroforestrysystemet varken utsätts för extrem torka eller extrem fukt. Detta kan emellertid bidra till en ökad nedbrytning (Barrios et al 2012), men eftersom det finns en stark negativ korrelation mellan nedbrytningshastighet och sänkt temperatur bör nedbrytningen hämmas mer än vad den gynnas av en mer dynamisk vattenreglering genom trädens upptag (Eriksson et al 2011).

## 3.2 Rotsystem, näring & vatten

En huvudsaklig utmaning av att planera ett agroforestrysystem är att sammanställa de för- och nackdelar som skapas genom intraspecifik och interspecifik interaktion (Jose et al 2004).

Exempelvis att eventuella förluster orsakade av trädens utkonkurrering av vissa individer eller sorter vägs mot vinster genererade genom en bättre vattenhushållning på ett fält som är svalare och mer skyddat från vind. Interaktioner är positiva då arter är komplementära och behovsområden är åtskilda, till exempel då rötter växer olika djupt ner i marken. En typisk negativ interaktion är konkurrens, som uppstår vid överlappning av olika arters behovsområden.

### **3.2.1 Vad vi vet**

Lignoser använder resurser som jordbruksgrödor inte har tillgång till genom att fånga upp vatten och näring från djupa jordhorisonter, under jordbruksgrödans rotsystem, och därmed minska läckage. Detta är en mekanism som beskrivs enligt "the safety net hypothesis" (Allen et al 2004). Träden och buskarnas roll inom ett agroforestrysystem är också att berika systemet på näring som upptagits från djupa jordhorisonter genom omsättningen av rottdelar och lövfällning (Bardgett et al 2014), beskrivet som "the nutrient pump effect" (Tsonkova et al 2012). Rötter bidrar till förbättrad markstruktur genom utsöndringen av rotexudat som håller ihop jordaggregat, nedbrytning av rötter ökar koncentrationen av näring i marken, och då rötter humifieras bidrar de indirekt till markens kollager (Bardgett et al 2014; Young 1997). Vid inblandning av kvävebindande lignoser, som exempelvis havtorn som används inom SAFE, ökar näringstillgången ytterligare. Att blanda arter av träd med rotsystem av olika djup är en annan metod som kan förbättra kretsloppet av näringsämnen (Plante et al 2014).

Att jordbruksgrödor och lignoser konkurrerar är oundvikligt, särskilt under begränsad vattentillgång, men konkurrensen går att minska exempelvis genom att samodla växter med komplementära rotsystem, samt genom att begränsa rotsystemet hos lignoser genom beskärning av ovanjordiska växtdelar, eller genom att tvinga ner rötter till djupare jordskikt med hjälp av diken eller plöjning (Young 1997).

### **3.2.2 Vad vi inte vet**

Träd och buskar minimerar läckage enbart då deras rotsystem växer lateralt och samtidigt djupare än jordbruksgrödornas rötter, då en komplettering uppstår (Young 1997). En sådan rotformation är inte sannolik under torra förhållanden i system som bevattnas, eftersom rötter då söker sig till ytliga jordlager, men den kan eventuellt kan uppstå hos lignoser som är mindre konkurrenskraftiga.



Träd som utvecklar djupgående rötter har under torra förhållanden en egenskap som är fördelaktig för jordbruksgrödor i agroforestrysystem, nämligen förmågan att transportera vatten från djupa till ytligare jordlager, och därigenom öka vatteninnehållet i matjorden. Effekten av denna egenskap är dock främst utforskad inom tropiska klimatområden (Jose et al 2004).

Förutom att ta upp vatten har rötter förmågan att förflytta fosfor och kväve från djupa jordlager (Bardgett et al 2014). Flödet av kväve vid odling av al (*Alnus sinuta*, som likt havtorn bildar en symbios med kvävefixerande bakterien *Frankia*) (Carro et al 2015) tillsammans med majs (*Zea mays*) studerades, och i synnerhet cirkulationen av kväve inom systemet (Seiter och Horwath 1999). Studien visar att både gröngödsling med sly från al och nedbrytning av rötter i samband med beskärning bidrog till kväveupptag hos samodlad majs. Plantor placerade nära träden erhöll kväve främst från en ökad omsättning av rötter i samband med beskärning, medan plantor på längre avstånd från träden huvudsakligen upptog kväve från gröngödsel. I en studie utförd i Belgien, som innefattade 17 agroforestrysystem av olika åldrar, observerades en betydelsefull ökning av kväve, fosfor, och magnesium i närhet till trädrader, som ett resultat av nedbrytningen av nedfallna blad från träd (Pardon et al 2017).

En bidragande faktor till förbättrat kväveupptag genom rotnedbrytning, som i försöket med odling av al tillsammans med majs, kan vara närvaron av mykorrhiza i marken (Seiter och Horwath 1999). Eftersom de fält som använts i systemet inte plöjts ett antal år innan, menar författarna att mykorrhiza har gynnats. Hamel et al (1991) bekräftar å ena sidan att det finns ett positivt samband mellan densiteten av mykorrhizahyfer i marken och ökad transport av kväve, men Sayed (2011) konstaterar å andra sidan, i en granskning av *Casuarina* som är ett kvävefixerande trädsläkte i symbios med olika stammar av *Frankia*, att plöjning gynnar tillväxten genom att förbättra jordstrukturen. Sayed (2011) skriver att en välluftad jord är fördelaktig för kvävefixering i symbios med *Frankia*. Intensiv plöjning leder dock till att kväve och kol som bundits i matjorden förloras, och medför minskad bördighet (Sayed 2011). Som nämnt tidigare sker plöjning på Lönnstorp för att tvinga ner rötter från träd och perenner under matjorden, men även som metod för ogräsbekämpning. Trots att manuella metoder för ogräsbekämpning inom ekologisk odling har verkan på ogräsförekomst, så är det framför allt viktigt att integrera ogräsbekämpning som en del av hela samodlingssystemet, det vill säga genom användandet av en växtföljd samt täckgrödor som dämpar ogräsförekomst (Bárberi 2001). När ett system blir mer avancerat (gällande växtföljd, samodling med perenner och träd samt täckgrödor) behöver plöjningen anpassas efter systemet. Ett alternativ, förutom

minskad plöjning, är att inte vända på jorden vid plöjning. En studie av Hansen et al (2010) har dock inte kunnat bekräfta att reducerad plöjning signifikant minskar läckage av kväve, på fält med växtföljd av antingen höstkorn, -raps, -vete, eller höstvete och korn (odlat tillsammans med rajgräs), ärtor och höstvete. Reducerad plöjning kan också orsaka en sämre etablering av höstsådda grödor, och därmed ett lägre upptag av mineraliserat kväve från marken, vilket kan leda till ökat läckage.

### **3.2.3 Hur agroforestrysystemet inom SAFE kan användas**

Seiter och Horwath (1999) skriver att vid användning av grüngödsel är det av vikt att ta hänsyn till att tidpunkt för beskärning av träd och period för jordbruksgrödans näringsbehov inte alltid stämmer överens. Inom SAFE på Lönnstorp används rötrest som gödselmedel, och kan med fördel appliceras under växtsäsongen då jordbruksgrödornas behov av näring är som störst. Än så länge är träd och buskar inom agroforestrysystemet på Lönnstorp unga, men när beskärning sker i framtiden finns komplementet att använda sly för att berika fälten på näring (pers. kom, Erik Rasmussen, SLU).

SAFE på Lönnstorp kan användas för att i framtiden undersöka hur beskärning av lignoser på bästa möjliga sätt kan synkroniseras med den period då näringsbehovet hos jordbruksgrödan är som störst. Då buskar och träd beskärs omsätts delar av rotsystemet, och studier över näringstillförsel från denna rotnedbrytning över lång tid är motiverat för en djupare förståelse för kvävecykeln inom ett agroforestrysystem (Seiter och Horwath 1999).

Speciellt under torra perioder, som under sommaren och hösten 2018 (Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut 2018), vore det av betydelse att undersöka eventuella skillnader i markfukt mellan agroforestrysystemet och de system inom SAFE som inte innefattar lignoser. Vid iakttagelse av en eventuellt högre markfuktighet i anslutning till träd och buskar vore det intressant att undersöka om detta beror av skuggning, vindskydd eller en förmåga hos lignoser att dra upp fukt från djupa jordlager till matjorden.

Plöjning är en mekanisk och kemikaliefri metod som används för att bekämpa ogräs inom agroforestrysystemet på Lönnstorp (pers. kom, Maria Ernfors, SLU). Mekanisk ogräsbekämpning genom plöjning är inte särskilt arbetsintensivt och är viktig inom system som bedrivs enligt ekologiska principer, därför vore det intressant att undersöka vad plöjningen har för effekter på exempelvis läckage och erosion.

### 3.2.4 Förslag till hypoteser

#### *III. Beskrining av havtorn på våren ökar kvävetillgången i marken.*

Skörd av havtorn kräver en viss beskärning (Li och Schroeder 1996), vilket sker under hösten då bären är mogna. Av praktiska skäl kan busken beskäras helt och hållet vid detta tillfälle, men för att undersöka effekten av beskärning på frigörandet av kväve genom rotomsättning kan istället fullständig beskärning utföras på våren. Precis som grüngödseltillförsel synkroniseras med tidpunkten då jordbruksgrödan är i störst behov av kväve, behöver beskärningen synkroniseras med detta behov. Seiter och Horwath (1999) menar att detta är en kritisk aktivitet för att uppnå optimal förvaltning av kväve inom en samodling av kvävebindande lignoser och jordbruksgrödor. Beskärning på våren bör leda till en ökad tillgänglighet av kväve i marken, och ett ökat kväveupptag hos jordbruksgrödan (Li och Schroeder 1996).

#### *IV. Den totala produktionen av biomassa kommer att vara högre i agroforestrysystemet än den totala produktionen av biomassa i det ekologiska systemet inom SAFE.*

Genom omsättning och nedbrytning av rötter och nedfallna löv, samt kvävefixering och skapandet av gynnsamma mikroklimat, har lignoser förmågan att främja en ökad tillväxt hos jordbruksgrödan. Visserligen kan interspecifik konkurrens leda till produktionsförluster, men enligt hypotesen om “overyielding” kan de ingående komponenterna i ett samodlingssystem komplettera varandras nischer och gynna varandra genom facilitering av vatten och näring, vilket leder till en ökad total produktion av biomassa (Wolz et al 2017).

#### *V. Agroforestryfält kommer att ha högre innehåll av markfukt än ekologiska fält inom SAFE.*

Lignosernas djupgående rötter kommer att öka markens innehåll av fukt genom att transportera vatten upp till matjorden från djupare jordhorisonter (Jose et al 2004). Ökade nivåer av fukt i marken kan också vara en effekt av skuggning, så för att separera effekten av skuggning från effekten av djupa rötters transport av vatten kan ljusmätningar göras inom agroforestryfälten.

VI. *Mindre mängder av den applicerade näringen kommer att läcka från agroforestrysystemet inom SAFE i jämförelse med det ekologiska systemet.*

Enligt “the safety net hypothesis” fångar djupa rötter från träd upp näring som är utom räckhåll för jordbruksgrödans rötter, och minskar därmed inre läckage av näring (Allen et al 2004). Genom att använda suglysimetrar kan koncentrationen av näringsämnen i marklösningen mätas i djupa jordlager, och tillsammans med mätningar av vattenpotential på samma djup kan flödet av näringsämnen beräknas. Genom att jämföra agroforestrysystemet med det ekologiska systemet kan eventuellt ett samband mellan minskat läckage och djupväxande trädrötter konstateras.

### **3.3 Skuggning**

Interaktioner mellan olika växter inom ett agroforestrysystem sker i högre utsträckning i området under träden; här är den skuggande effekten av grenverket som mest märkbar, och i anslutning till trädkronan hamnar en större del av fällda löv och grenar, vilket bör leda till ett ökat näringsupptag hos omgivande vegetation (Smith et al 2012). Eftersom skuggning minskar avdunstningshastigheten i mark och växter innehåller området under träden vanligen mer fukt (Smith et al 2012). Inom agroforestrysystem i tropiska och torra områden kan skuggning ge skydd genom att skapa gynnsamma mikroklimat. Då fuktnivåer stiger samtidigt som ljusintensiteten minskar och temperaturen sjunker kan jordbruksgrödor gynnas, särskilt i etableringsfasen (Jose et al 2004).

#### **3.3.1 Vad vi vet**

Inom agroforestrysystem i tempererade områden är en begränsande abiotisk faktor solljus, vilket har tydliggjorts i en studie med höstvetete (Jose et al 2004), där skörden minskat betydligt under skuggiga förhållanden. Detta på grund av att produktionen av biomassa är beroende av den mängd fotosyntetiskt aktiv strålning (ljus inom våglängdspektrumet 400–700 nm) som är tillgänglig för en växt. Vid skuggning, då de översta lagren av vegetationen absorberar majoriteten av rött och blått ljus, påverkas kvaliteten och sammansättningen hos det ljus som sedan når undervegetationen, eller de jordbruksgrödor som står under skuggning av träd.

Mekanismer som reglerar tillväxten, samt andra hormonreglerade processer hos en växt, reagerar på rött och infrarött ljus. Författarna menar att bristen på ljus av röda och infraröda våglängder är anledningen till varför skuggning kan orsaka en utkonkurrering eller

försämring av kvalitet hos jordbruksgrödor som växer under skuggiga förhållanden. Björklund et al (2018) bekräftar detta, och menar att låga träd eventuellt är bättre anpassade till svenska agroforestrysystem.

### **3.3.2 Vad vi inte vet**

Användandet av träd och buskar på åkermark kan ha negativ påverkan på jordbruksgrödor då skuggning uppstår, eftersom solljus är en begränsande faktor (Jose et al 2004), samtidigt som träd och buskar kan bidra till skapandet av fördelaktiga mikroklimat genom att fungera som vindbarriärer (Sudmeyer och Speijers 2007). Dock på grund av solljusets begränsande effekt på tillväxt i tempererade områden understryker Smith et al (2012) att planering av avstånd mellan trädrader i ett agroforestrysystem är centralt för att reducera skördeförluster. I ett försök av Gillespie et al (2000) påträffades det emellertid att underjordiska interaktioner mellan svart valnöt (*Juglans nigra* L.) respektive rödek (*Quercus rubra* L.) och majs (*Zea mays* L.) hade större inverkan på skörden av majs än vad skuggning hade. Då rötter från träden separerats från majsplantornas rötter, genom dikning eller upprättandet av polyetylenbarriärer med djup på 1,2 meter, ökade skörden av majs i jämförelse med behandlingar där de olika rotsystemen tillåts interagera. En annan aktivitet som minskade konkurrens i rotzonen mellan gröda och träd var beskärning av trädens rotsystem; dock uppstod denna effekt främst i system med svart valnöt. Författarna menar att eventuell förändring av underjordisk konkurrens till följd av rotbeskärning beror av rötternas struktur och textur. Författarna menar också att påverkan av skuggning kan variera, och att ljustillgång kan göras till en mer begränsande faktor i förhållande till faktorer som ålder och storlek på de träd som ingår i systemet, beskärning av trädkronor och rotsystem, samt jordbruksgrödans tolerans.

### **3.3.3 Hur agroforestrysystemet inom SAFE kan användas**

På Lönnstorp är den planerade maximala höjden för träden mellan tre och fyra meter. Vid beskärning av träd, samt vid lövfällning, förändras skuggningseffekten på jordbruksgrödan, vilket vore av intresse att studera. För att studera vilken inverkan som beror av skuggning respektive underjordisk konkurrens skulle eventuellt skuggdukar kunna placeras i fält inom SAFE som inte innehåller lignoser (Gillespie et al 2000). Eventuellt skulle beskärning av lignoser kunna utföras skiftesvis, för att undersöka effekt av skuggning vid närvaro av interaktion mellan rotsystemen.

### 3.3.4 Förslag till hypoteser

*VII. Effekter av skuggning kommer att vara gynnsamma under år av höga temperaturer och torka, och bidra till en jämnare produktion inom agroforestrysystemet i jämförelse med det ekologiska systemet inom SAFE.*

Solljus är en begränsande faktor inom agroforestrysystem i tempererade klimat (Jose et al 2004), men skuggning kan också under perioder av stark solstrålning, höga temperaturer och låg nederbörd bidra till att bibehålla en gynnsam produktion. Klimatet förändras, och skuggning kommer eventuellt inte alltid vara en hämmande faktor inom tempererade områden. Jordbruksgrödor har olika tolerans för skugga (Sudmeyer och Speijers 2007), och modeller kan eventuellt utformas för att förutspå effekt av skugga inom agroforestrysystemet, för att sedan studeras i samband med data över produktionen.

*VIII. Skugga har större effekt i agroforestrysystemet där det också sker interaktioner i rotzonen, i jämförelse med effekten av skugga orsakade av skuggduk inom det ekologiska systemet.*

Det ekologiska systemet inom SAFE har samma växtföljd som agroforestrysystemet och skulle kunna användas för att undersöka effekten av skugga i frånvaro av konkurrens i rotzonen. Detta genom uppförandet av skuggdukar med motsvarande skuggande effekt som buskar och träd inom agroforestrysystemet (Gillespie et al 2000). För att separera effekten av skugga från effekten av vindskydd skulle en konstruktion som enbart orsakar skugga kunna uppföras inom det ekologiska systemet. Exempelvis höga ställningar med en styrbar skuggduk placerad horisontellt ovanför jordbruksgrödorna, på ett sätt som efterliknar skuggningseffekten från häck- och trädrader. För att undersöka effekten av vindskyddet skulle eventuellt en barriär av ett ljusgenomsläppande material placeras i det ekologiska systemet, på samma sätt som träd- och häckrader är placerade i agroforestrysystemet, med förutsättningen att det inte genererar en växthusliknande effekt på temperaturen.

### 3.4 Vindskydd

Trots att skuggning kan orsaka en förhöjd effekt av den konkurrens som pågår under jorden i ett agroforestrysystem (Gillespie et al 2000) kan det lokala klimat som skapas av träden också vara fördelaktigt; exempelvis genom trädens funktion som vindbarriärer (Böhm et al 2014). Då vindhastigheten minskas motverkas erosion, och vid lövfällning motverkas även näringsförluster genom ytavrinning eftersom marken skyddas mot kraftigt regn (Tsonkova et al 2012). I närvaro av vindskydd sänks temperaturen i marken och fuktnivåer höjs, och därmed skapas ett fördelaktigt mikroklimat som kan leda till en ökad produktion hos jordbruksgrödor. Biodiversiteten inom fältet ökar också genom ett utökat antal använda arter (Plante et al 2014).

#### 3.4.1 Vad vi vet

Ett fältförsök i Tyskland inkluderade robinia (*Robinia pseudoacacia*) och en poppelhybrid (*Populus maximowiczii* × *Populus nigra*) på två olika jordbruksytor och med olika avstånd mellan träden (24, 48 och 96 meter) (Böhm et al 2014). Jämförelser mellan fält med trädrader och öppna fält visade i de flesta mätningar en reduktion av vindhastigheten som effekt av trädens närvaro (träden hade olika höjd beroende på ålder, mellan cirka 70 cm till 4 m). I vissa fall uppgav mätningar en vindhastighet som var större på fält med 96 meter mellan trädraderna i jämförelse med helt öppna fält. Författarna menar att denna faktor, avståndet mellan trädrader, har en stor inverkan på vindreducering. Detta är ett element som kräver särskild uppmärksamhet i planeringsstadiet, särskilt om de träd som används odlas för bioenergi och skördas skiftesvis. Böhm et al (2014) skördade i sitt försök varannan trädrad på fältet med 24 meter mellan raderna och noterade en successiv förändring i vindreduceringskapaciteten inom fältet. Författarna noterade också skillnader i vindreducering mellan fält beroende på trädradernas orientering (nordlig till sydlig eller västlig till östlig riktning), höjd på träden, trädart, samt fysiologiska förändringar orsakade av beskärning eller fenologisk fas. Sudmeyer och Speijers (2007) genomförde ett försök som innefattande vete (*Triticum aestivum*) och lupin (*Lupinus angustifolius*) där mikroklimatet och tillväxten hos grödorna mättes i närhet till ett tre meter högt vindskydd av skuggduk; detta för att utesluta den underjordiska konkurrens som uppstår vid användandet av träd som vindskydd. Mikroklimatet analyserades genom mätning av vindhastighet, luft- och marktemperatur, relativ luftfuktighet samt PAR. Författarna observerade att mikroklimatet mer än nio meter (tre gånger höjden av vindskyddet) från skuggduken inte påverkas signifikant, och att förändringar av skörden

utanför detta avstånd snarare beror av exempelvis skillnader i agronomiska omständigheter. Grödor som befinner sig inom det skyddade området påverkas inte till samma grad av mekaniska skador orsakade av hög vindhastighet.

### **3.4.2 Vad vi inte vet**

Ett vindskydd som placeras i nordlig till sydlig riktning för att minimera skuggning kommer att påverka grödor i ett diversifierat system på mycket olika sätt. I försöket av Sudmeyer och Speijers (2007) upptäcktes det att vete främjades av denna vindskyddsorientering då skuggningen ökade i slutet av odlingssäsongen, medan lupin skadades. Författarna framhåller att vindbarriärer bör placeras på det vis att optimalt vindskydd uppnås, hellre än minimal skuggning. Detta eftersom att underjordisk konkurrens om vatten och näring, som kan minskas genom ett förbättrat mikroklimat, tenderar att vara mer begränsande än effekten av den ovanjordiska konkurrensen om sol, särskilt vid användande av träd eller buskar som vindskydd. Jose et al (2004), som nämnt ovan, understryker emellertid solljuset som en stark begränsande faktor inom tempererade klimat.

### **3.4.3 Hur agroforestrysystemet inom SAFE kan användas**

Plöjning kan skada aggregatstrukturen och orsaka erosion av jordpartiklar under torra perioder (Paustian et al 2016), men är samtidigt en icke-arbetsintensiv metod för bekämpning av ogräs. Eftersom agroforestrysystemet på Lönnstorp bedrivs enligt ekologiska odlingsprinciper är plöjning en icke-kemisk metod för ogräsbekämpning (pers. kom, Maria Ernfors, SLU). Att avstå från att plöja är därmed svårt, och det vore därför av intresse att undersöka hur plöjning påverkar erosion i ett system med lignoser. Träd och buskar reducerar vindhastighet och förbättrar jordstrukturen genom bestående rotsystem, och kan dessutom fungera som en barriär mot erosion (Young 1997; Böhm et al 2014).

Inom vilka avstånd från träd- och häckrader som vindskydd har en effekt finns studier som ger olika svar (Sudmeyer och Speijers 2007; Smith et al 2012; Böhm et al 2014), där samtliga försök främst diskuterar höjden på vindskyddet som den avgörande faktorn. Cleugh (1998) beskriver emellertid effekter av vindskydd som beror på genomsläpplighet, snarare än höjd, studerat med hjälp av modellering och experiment med vindtunnlar. Agroforestrysystemet inom SAFE kan användas för att studera vindskyddens omfattning.



### **3.4.4 Förslag till hypoteser**

IX. *Plöjning inom agroforestrysystemet kommer att orsaka en mindre grad av yterosion än plöjning som genomförs inom det ekologiska systemet i SAFE.*

Plöjning är en jordbruksaktivitet vars effekt ger upphov till meningsskiljaktigheter; denna aktivitet anses både orsaka läckage, samt stärka jordstrukturen (Sayed 2011; Paustian et al 2016). Det vore av intresse att göra jämförelser av både yterosion och inre erosion mellan agroforestrysystemet och det ekologiska systemet inom SAFE. Träd och buskar reducerar vindhastighet och bidrar till en mer stabil jordstruktur genom ett rotsystem som är beständigt (Böhm et al 2014), vilket ger upphov till hypotesen att system som inkluderar lignoser motverkar yterosion. Eftersom plöjning används som en metod för ogräsbekämpning inom SAFE är det relevant att undersöka konsekvenser av plöjning inom hela systemet.

Skillnad i yterosion mellan odlingssystemen skulle kunna undersökas genom att exempelvis placera konstruktioner som fångar in jordpartiklar som förflyttats genom vind. Det vore eventuellt också möjligt att samla in blad från lignoser inom agroforestrysystemet för att undersöka mängd jordpartiklar som fångats in på bladytan.

X. *Effekten av vindskyddet innefattar de jordbruksfält som befinner sig mellan varje häckrad i agroforestrysystemet inom SAFE.*

Eftersom det finns meningsskiljaktigheter inom den befintliga litteraturen angående hur långt effekten av ett vindskydd sträcker sig över fälten inom en alléodling (Sudmeyer och Speijers 2007; Smith et al 2012; Böhm et al 2014; Cleugh 1998) vore det intressant att mäta vindhastigheten på olika avstånd från häckraderna inom agroforestrysystemet på Lönnstorp. För att studera effekten av vindskyddets genomsläpplighet vore det eventuellt möjligt att undersöka variation i vindreducering där blåbärstry är planterat, i jämförelse med block av havtorn.

## **4. Diskussion**

### **4.1 Metod**

För att systematiskt beskriva kunskapsbrister inom ett givet ämne krävs först en kartläggning över själva ämnet. I detta arbete har metoden varit att överblicka den forskning som finns

tillgänglig, för att sedan påbörja identifieringen av kunskapsluckor inom ett antal områden. Metoden för det urval som gjorts angående vilka huvudsakliga aspekter som ska behandlas i denna text kan argumenteras vara subjektiv, och det är skäligt att eftersträva ett mer objektivi grepp. Den bedömning som gjorts gällande vilka områden som bör innefattas i detta arbete har dock motiverats av 1) områdets komplexitet, samt 2) områdets allmängiltighet, ett mönster som syns även inom forskningen. Det material som har funnits tillgängligt på ämnet agroforestry i tempererat klimat har huvudsakligen behandlat de fyra områden som behandlats i denna uppsats.

En alternativ metod för att sammanställa den kunskap som finns om agroforestry i tempererat klimat hade exempelvis kunnat vara en meta-analys. Inom ramen för detta arbete hade det emellertid inte varit genomförbart. Eftersom det saknas standardmetoder och gemensamma begrepp (Nair et al 2009; Udawatta och Jose 2012) finns det dock skäl att ifrågasätta möjligheten till en sådan analys.

#### **4.1.1 Val av områden**

Kolinlagring är ett exempel på ett ämne som är relevant för alla typer av agroforestrysystem, särskilt eftersom samodling av jordbruksgrödor och lignoser lyfts fram som en strategi för att avlägsna koldioxid från atmosfären (Paustian et al 2016). Kolinlagring som ämne rymmer också en komplexitet i flera bemärkelser. Dels är kolinlagring en mekanism som beror av många olika faktorer, exempelvis beståndstäthet, träkvalitet, livslängd innan avverkning, trädålder och art, och dels saknas standardiserade tillvägagångssätt för att mäta produktionen av biomassa för träd som samodlas med jordbruksgrödor, och därmed deras kolinlagringskapacitet (Nair et al 2009). Detta är ett problem som även Udawatta och Jose (2012) belyser. Nair et al (2009) problematiserar även hur kolinlagringskapacitet kvantifieras, och menar att det idealt skulle anges enligt en gradering (mängd kol per ytenhet och tid). Data som finns tillgänglig nu anger dock kolinlagringskapacitet ofta som mängd kol vid en viss tidpunkt, och enligt författarna beror detta på brist på studier av kolinlagring över lång tid. Just på grund av de svårigheter som finns gällande uppskattning av kolinlagringskapacitet, samt betydelsen av kolinlagringens effekt (Paustian et al 2016), har ämnet inkluderats i detta arbete.

Vindskydd är en effekt av inkorporering av lignoser som inte heller, likt effekten av skugga, är enkel att generalisera kring. Den litteratur som behandlar effekten av vindskydd är oenig, och kanske av oundvikliga skäl. Variationen som ges av vindskyddsmaterialets

genomsläpplighet, höjd och form ger upphov till många olika resultat vid mätningar (Sudmeyer och Speijers 2007; Smith et al 2012; Böhm et al 2014; Cleugh 1998), men en förståelse och ett vidare utforskande av påverkande faktorer är av vikt för att användningen av vindskydd ska kunna optimeras, speciellt inom områden som är särskilt utsatta för erosion (Böhm et al 2014).

Att lignoser orsakar skuggningseffekter är tydligt eftersom de i majoriteten av fallen uppnår en höjd som överträffar den hos jordbruksgrödan, men att effekten av skugga under alla omständigheter är begränsande är dock inte lika självklart (Sudmeyer och Speijers 2007). Att skuggning och vindskydd har prioriterats framför andra ämnesområden inom agroforestry som hade kunnat inkluderas i detta arbete, motiveras framför allt av att det finns ett behov av att utforska aspekter inom jordbrukssystem som kan komma att ha betydelse under ett föränderligt klimat (Schoeneberger et al 2012).

Rotsystemet inom ett agroforestrysystem skiljer sig från rotsystemet inom en monokultur på det sätt att en viss del av det närvarar på odlingsmarken under flertalet säsonger. Detta innebär en ökad konkurrens om resurser, men också möjligheter för facilitering (Bardgett et al 2014; Tsonkova et al 2012). Rotsystem skiljer sig inte bara åt mellan olika typer av arter, utan kan även variera inom en art beroende på det system i vilket den odlas (Plante et al 2014; Borden et al 2017; Bardgett et al 2014). Att avstå från att beröra detta omfattande ämne vore att förbise många av de områden som inte bara är utforskade inom agroforestrysystem, utan också generellt, samt att förbise ett av de områden där en grundlig förståelse har som mest potential till optimering av ett odlingsystem.

Som nämnt tidigare har ämnesområden valts ut genom deras komplexitet och relevans, men tilläggas bör också att urvalet har skett baserat på tillgänglig forskning. Befintlig kunskap behöver först samlas, innan en kartläggning av kunskapsbehov kan påbörjas.

### **4.3 Hypoteser**

Inom forskning om lignoser som ingår i agroforestrysystem framgår det av Nair et al (2009), samt Jose (2009) att en följd av inkorporering av lignoser på jordbruksområden leder till en ökad kolinlagring, men att brist på data över produktionen av underjordisk och ovanjordisk biomassa är ett problem för fullständig förståelse för graden av ökad kolinlagringskapacitet. Träd som odlas tillsammans med årliga jordbruksgrödor får tillgång till mer solljus och kan därför fotosyntetisera i högre grad än träd som odlas tätare i konventionella bestånd, vilket ökar förmågan att binda in kol i marken (Lovell et al 2018). Även den brist på data över skörd

från fruktträd och bärbuskar odlade inom agroforestrysystem (Björklund et al 2018) bidrar till problematiken kring en fullständig uppskattning av hur mycket frigörandet av koldioxid kan reduceras i ett sådant system. Behovet av att studera produktionen av biomassa inom agroforestrysystem ger upphov till formuleringen av hypotes I. Det är emellertid inte helt säkert att en ökad kolinlagring kommer att noteras hos de äppelträd som odlas inom SAFE, det kan exempelvis visa sig att höjdtillväxten är långsammare på grund av en lägre konkurrens om ljus. Dock produceras mer blad under lägre konkurrensförhållanden, vilket leder till en ökad fotosyntetisk aktivitet, högre produktion av biomassa och därmed bör kolinlagringskapaciteten ändå öka (Udawatta och Jose 2012). Det skulle kunna argumenteras att en eventuell överlägsen kolinlagringskapacitet i huvudsak, eller enbart, beror av användandet av en kraftigare grundstam, som vanligtvis inte används inom äppelodlingar. Det finns emellertid studier över andra arter, exempelvis valnötsträd, som påvisar en ökad produktion av biomassa utan att en grövre grundstam används (Lovell et al 2018) vilket ger upphov till att tro att äppelträd odlade inom agroforestrysystemet kommer att ha en högre produktion av biomassa bortsett från att de har en kraftigare grundstam.

Om möjlighet fanns hade det också varit av intresse att studera hur kolinlagringskapaciteten inom ett agroforestryfält påverkas då flertalet frukt- och bärproducerande arter inkluderas, som inom SAFE, i jämförelse med den vanligare användningen av enbart en art för produktion av timmer eller bioenergi (Wolz och DeLucia 2017). Det finns eventuellt möjlighet att göra sådana sammankopplingar med fältexperiment utanför SAFE, men på grund av att det inte finns självklara jämförelser att göra har detta inte formulerats till en hypotes.

Vid formulering av en hypotes gällande kolinlagring i ett agroforestrysystem kan det vara rimligt att också bilda hypoteser kring den nedbrytning som sker inom systemet. Kolinlagringskapaciteten inom ett fält bestäms nämligen av nedbrytningshastigheten, utöver tillförseln av organiskt material till marken (Nair et al 2009). En uppskattning av hur nedbrytningshastigheten påverkas av närvaron av lignoser är nödvändig för att fullt begripa de mekanismer som utgör kapaciteten för kolinlagring, och kan användas för att minimera utsläpp av koldioxid. Eftersom SAFE innehåller två system som har samma växtföljd, där skillnaden enbart är att ett av systemen innehåller rader av träd och häck, underlättas jämförelser av nedbrytning. Som nämnt i avsnitt 3.1.4 motverkas nedbrytning av kraftig torra och högt vatteninnehåll i marken (Eriksson et al 2011), två faktorer som träd- och buskar kan motverka genom att skugga och sänka temperaturen inom fältet, samt genom att under en längre period ta upp vatten från marken. Detta skulle kunna innebära att nedbrytningen gynnas

inom agroforestrysystemet och att resultatet blir en ökad nedbrytningshastighet (Barrios et al 2012). Det starka negativa sambandet mellan sänkt temperatur och nedbrytningshastighet bör dock vara dominerande över gynnsamma effekter av vattenreglering (Eriksson et al 2011). Åter är det ekologiska systemet inom SAFE användbart för prövning av hypotes II, gällande nedbrytning.

Enligt Seiter och Horwath (1999) är synkroniseringen av beskärning med jordbruksgrödans period av ökat näringsbehov kritisk för att ett system ska optimeras. Beskärning kan användas som en strategi för att kvävegödsla, särskilt i system som innefattar kvävebindande lignoser (Seiter och Horwath 1999; Li och Schroeder 1996). Inom SAFE odlas havtorn som bildar symbios med den kvävebindande bakterien *Frankia* (Pawlowski & Bergman 2007), vilket innebär att atmosfäriskt kväve nyttjas av växten. Eftersom spannmålsgrödor saknar förmågan att bilda denna symbios är konventionell odling beroende av kvävegödsel, en produkt som vid produktion orsakar stora utsläpp av koldioxid och som vid applicering kan leda till miljöförstörande läckage (Carro et al 2015). Att pröva hypotes III inom agroforestrysystemet på Lönnstorp kan alltså ge insikt i hur kvävetillgänglighet kan gynnas genom inkorporeringen av kvävebindande lignoser och beskärning av dessa. Detta kan vara användbart för att uppnå ett mål om minskad miljöpåverkan från jordbruksaktiviteter, samt för ett åtstramande av kvävecykeln inom ett odlingssystem.

Hypotes IV rör inkorporeringen av lignoser och effekten på total produktion, och omfattar teorier gällande ”overyielding” och effektiviserad näringsförvaltning (”nutrient pump theory”) (Wolz och DeLucia 2017; Marquard et al 2009; Bardgett et al 2014; Allen et al 2004; Tsonkova et al 2012). Denna hypotes kan motiveras av en ständigt ökande efterfrågan på effektiviserad och diversifierad matproduktion (Foley 2011). Ett hinder för ökad produktion inom agroforestrysystem är interspecifik konkurrens, emellertid förefaller det omotiverat att utesluta ett diversifierat odlingssystem för att undvika att konkurrens uppstår. Detta eftersom det i litteraturen kan sägas finnas en konsensus gällande att den facilitering av resurser som också förekommer vid interaktion kan ha effekter som överväger de negativa konsekvenser som orsakas av konkurrens. En förståelse för dynamiken mellan facilitering och konkurrens är dock avgörande för planeringen av ett effektivt odlingssystem (Jose et al 2004).

En typ av resurs som lignoser kan tillhandahålla är förhöjda nivåer av markfukt genom att transportera upp vatten från djupa jordlager. Hypotes V undersöker denna effekt, som annars främst är utforskad inom tropiska agroforestrysystem (Jose et al 2004). En anledning till varför denna funktion är besvärlig att utforska är eventuellt sambandet som finns mellan

ökning av markfukt och minskad avdunstning, som kan främjas genom skuggning. Att separera dessa två effekter är av vikt för att förstå de mekanismer som är verksamma hos lignoser odlade inom agroforestrysystem, för att också utöka förståelsen för variationer i rotdistribution (Plante et al 2014; Bardgett et al 2014; Borden et al 2017) och för att optimera vattenanvändningen inom ett system.

Det är likväl av vikt att utforska dessa mekanismer för att bilda en uppfattning om hur agroforestrysystem kan användas för att minimera läckage av näring. Enligt hypotes VI kommer "the safety net hypothesis" att innebära att mindre av den applicerade näringen kommer att läcka från agroforestrysystemet inom SAFE, i jämförelse med det ekologiska systemet, tack vare djupgående rötter hos lignoser (Allen et al 2004). Genom att mäta vattenpotential och koncentration av näring vid ett visst djup kan jämförelser mellan systemen göras. Motiveringen till denna hypotes grundas i behovet av att minska läckage av näring från jordbruksmark.

Ett diversifierat system är tåligare under ett klimat som är i förändring, inrymmer flertalet ekosystemtjänster och bibehåller en jämn total produktion (Smith 2012; Lovell et al 2017). En faktor som är särskilt begränsande inom alléodlingar i tempererade klimat är solljus, eftersom tillväxten hos jordbruksgrödor är beroende av tillgänglig fotosyntetiskt aktiv strålning (Jose et al 2004). Ett system som utgår från att tillgången till solljus alltid är styrande för produktionen kan emellertid bli lidande under perioder av torka och höga temperaturer, i jämförelse med ett system som tillåter variation. Hypotes VII angående att skugga bidrar till en jämnare produktion stödjer sig därmed på detta, och kan ha stor betydelse för hur olika system kan utformas inom jordbruket för att parera ett ombytligt klimat.

Tillsammans med en förståelse för hur skugga kan bidra till ett mindre utsatt odlingssystem krävs en förståelse för interaktioner som sker mellan träd och jordbruksgrödor under jorden. Det är av vikt att separera olika effekter från varandra för att exempelvis inte missta en eventuellt gynnsam effekt av interaktioner i rotzonen som att bero av skuggning, eller vice versa, i synnerhet då dessa två element har en stor påverkan på varandra. Försök av Gillespie et al (2000) ger upphov till hypotes VIII, som påstår att effekten av skugga framträder kraftigare i samband med underjordiska interaktioner. Hur avväger jordbruket mellan ett framtida behov av skuggans gynnsamma effekter och eventuella negativa konsekvenser av rotinteraktioner? Till att börja med behöver sambanden undersökas, vilket kan göras inom SAFE, exempelvis genom upprättandet av skuggdukar inom det ekologiska systemet.

Hypotes IX gällande effekten av vindskydd på graden av yterosion görs också relevant i samband med en diskussion av skuggningseffekter, eftersom att dessa två aspekter oftast är sammankopplade. Inom ett odlingssystem som SAFE, där odling bedrivs enligt ekologiska principer, används inte herbicider för att bekämpa ogräsförekomst. Inom agroforestrysystemet och det ekologiska systemet används istället plöjning som ogräsbekämpning, en metod som är någorlunda kontroversiell (Sayed 2011; Paustian et al 2016) på grund av kopplingen till yterosion. Konsekvenser som fås av användningen av kemiska bekämpningsmedel och konsekvenser av yterosion är så skilda från varandra att jämförelser blir svåra. Att undersöka hur effekter av plöjning ser ut i ett system som innefattar vindskydd är emellertid relevant på grund av denna komplexitet, för att öka förståelsen för plöjningens följder. I denna diskussion är det då också rimligt att undersöka utsträckningen av vindskyddets effektivitet. Hypotes X behandlar omfattningen av det vindskydd som finns inom SAFE, och motiveras av de meningsskiljaktigheter som finns i litteraturen (Sudmeyer och Speijers 2007; Smith et al 2012; Böhm et al 2014; Cleugh 1998).

## **5. Slutsatser**

De resultat som fåtts fram genom denna litteraturstudie bekräftar att det finns områden inom agroforestry i tempererat klimat som kräver forskning. Inom de områden som inkluderats i detta arbete finns flertalet kunskapsluckor som utgör hinder för utbredningen av agroforestry som jordbruksstrategi inom tempererat klimat, och för optimering av de system som finns idag. Detta arbete bekräftar också att fältexperiment som SAFE på Lönnstorp är mycket användbara och väsentliga för forskning som undersöker olika aspekter av agroforestry i tempererat klimat.

## 6. Referenser

Agroforestry Sverige (u.å). Agroforestry Sverige. Tillgänglig: <https://www.agroforestry.se/agroforestry> [2019-04-16]

Allen, C. S, Jose, S., Nair, R. P. K., Brecke, J., B., Nkedi-Kizza, P. & Ramsey, L. C (2004). Safety-net role of tree roots: evidence from a pecan (*Carya illinoensis* K. Koch)-cotton (*Gossypium hirsutum* L.) alley cropping system in the southern United States. *Forest Ecology and Management*, vol. 192 (2), ss. 395-407. DOI 10.1016/j.foreco.2004.02.009

Bárberi, P (2002). Weed management in organic agriculture: are we addressing the right issues? *Weed Research*, vol. 42 (3), ss. 177-193. DOI 10.1046/j.1365-3180.2002.00277.x

Bardgett, R., Mommer, L & De Vries, F. T. (2014). Going underground: root traits as drivers of ecosystem processes. *Trends in Ecology & Evolution*, vol. 29 (12), ss. 692-699. DOI 10.1016/j.tree.2014.10.006

Barrios, E., Sileshi, W, G., Shepherd, D. K. & Sinclair, F (2012). Chapter 5.2, Agroforestry and Soil Health: Linking Trees, Soil Biota, and Ecosystem Services. I: Wall, H., D. (red), *Soil Ecology and Ecosystem Services* (första upplagan). Oxford: Oxford University Press, ss. 315-330.

Björklund, J., Eksvärd, K & Schaffer, C. (2018). Exploring the potential of edible forest gardens: experience from a participatory action research project in Sweden. *Agroforestry Systems*, vol. 93 (3), ss. 1107-1118. DOI 10.1007/s10457-018-0208-8

Borden, A. K, Thomas, S. C. & Isaac, E. M (2017). Interspecific variation of tree root architecture in a temperate agroforestry system characterized using ground- penetrating radar. *Plant and Soil*, vol. 410 (1-2), ss. 323-334. DOI 10.1007/s11104-016-3015-x



Böhm, C., Kanzler, M & Freese, D. (2014). Wind speed reductions as influenced by woody hedgerows grown for biomass in short rotation alley cropping systems in Germany. *Agroforestry Systems*, vol. 88 (4), ss. 579-591. DOI 10.1007/s10457-014-9700-y

Carro, L., Pujic, P., Alloisio, N., Fournier, P., Boubakri, H., Hay, E. A., Poly, F., Francois, P., Hocher, V., Mergaert, P., Balmand, S., Rey, M., Heddi, A. & Normand, P. (2015). Alnus peptides modify membrane porosity and induce the release of nitrogen-rich metabolites from nitrogen-fixing *Frankia*. *The ISME Journal*, vol. 9, ss. 1723-1733. DOI 10.1038/ismej.2014.257

Cleugh, A. H (1998). Effects of windbreak on airflow, microclimates and crop yields. *Agroforestry Systems*, vol. 41 (1), ss. 55-84. DOI 10.1023/A:1006019805109

Constandache, C., Peticilă, A., Dincă, L. & Vasile, D. (2016). The usage of Sea Buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) for improving Romania's degraded lands. *AgroLife Scientific Journal*, vol. 5, (2), ss. 50-58. Tillgänglig: <https://pdfs.semanticscholar.org/d929/16cff9b50f38db16f6f8106fb6666e690eee.pdf> [2019-04-20]

Eriksson, J., Dahlin, S., Nilsson, I. & Simonsson, M. (2011). Markens organiska material och biologiska processer. I: Eriksson, J. (red), *Marklära*. Upplaga 1:1. Lund: Studentlitteratur, ss. 103-132.

FAO (2015). Agroforestry. Tillgänglig: <http://www.fao.org/forestry/agroforestry/> 80338/en/ [2019-04-21]

Foley J. A (2011). Can we feed the world and sustain the planet? A five-step global plan could double food production by 2050 while greatly reducing environmental damage. *Scientific American*, vol. 305, ss. 60 - 65. DOI 10. 1038 / scientificamerican1111-60

Gillespie, A. R., Jose, S., Mengel, D. B, Hoover, W. L, Pope, P. E., Seifert, J. R, Biehle, D. J, Stall, T & Benjamin, T. J (2000). Defining competition vectors in a temperate alley cropping

system in the Midwestern USA: 1. Production Physiology. *Agroforestry Systems*, vol. 48 (1), ss. 25-40. DOI 10.1023/A:1006285205553

Hamel, C., Nesser, C., Barrantes-Cartín, U. & Smith, D.L (1991). Endomycorrhizal fungal species mediate 15N transfer from soybean to maize in non-fumigated soil. *Plant and Soil*, vol. 138 (1), ss. 41-47. DOI 10.1007/BF00011806

Hansen, E. M, Munkholm, L. J, Melander, B & Olesen, J.E (2010). Can non- inversion tillage and straw retainment reduce N leaching in cereal-based crop rotation? *Soil and tillage research*, vol. 109 (1), ss. 1-8. DOI 10.1016/j.still. 2010.04.001

Jose, S. (2009). Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. *Agroforestry Systems*, vol. 76 (1), ss. 1-10. DOI 10.1007/ s10457-009-9229-7

Jose, S., Pallardy, S. G & Gillespie, A.R (2004). Interspecific interactions in temperate agroforestry. *Agroforestry Systems*, vol. 61 (1-3), ss. 237-255. DOI 10.1023/B:AGFO.0000029002.85273.9b

Li, S. C. T. & Schroeder, R. W (1996). Sea Buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.): A Multipurpose Plant. *HortTechnology*, vol. 6 (4), ss. 370-380. DOI 10.21273/HORTTECH.6.4.370

Lovell, S. T., Dupraz, C., Gold, M., Jose, S., Revord, R., Stanek, E. & Wolz, J. K (2017). Temperate agroforestry research: considering multifunctional woody polycultures and the design of long-term field trials. *Agroforestry Systems*, vol. 92 (5), ss. 1397-1415. DOI 10.1007/s10457-017-0087-4

Marquard, E., Weigelt, A., Temperton, V. M, Roscher, C., Schumacher, J., Buchmann, N., Fischer, M., Weisser, W. W. & Schmid, B (2009). Plant species richness and functional composition driveoveryielding in a six-year grassland experiment. *Ecology*, vol. 90 (12), ss. 3290-3302. DOI 10.1890/09-0069.1

Nair, P.K R, Kumar, B. M. & Nair, D. V. (2009). Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, vol. 172, ss. 10-23. DOI: 10.1002/jpln.200800030

Pardon, P., Reubens, B., Reheul, D., Mertens, J., De Frenne, P., Coussement, T., Janssens, P., & Verheyen, K (2017). Trees increase soil organic carbon and nutrient availability in temperate agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 247, ss. 98-111. DOI 10.1016/j.agee.2017.06.018

Paustian, K., Lehmann, J., Ogle, S., Reay, D., Robertson, P. & Smith, P. (2016). Climate-smart soils. *Nature*, vol. 532, ss. 49-57. DOI 10.1038/nature17174

Pawlowski, K & Bergman, B (2007). Plant Symbioses with Frankia and Cyanobacteria. I: Bothe, H., Fergussan & Newton, W.E (red), *Biology of the Nitrogen Cycle*. Amsterdam: Elsevier B.V, ss. 165-178.

Plante, P-M., Rivest, D., Vézina, A. & Vanasse, A (2014). Root distribution of different mature tree species growing on contrasting textured soils in temperate windbreaks. *Plant and Soil*, vol. 380 (1/2), ss. 429-439. DOI 10. 1007/s1 11 04-014-2 108-7

Sayed, W. F (2011). Improving Casuarina growth and symbiosis with Frankia under different soil and environmental conditions — a review. *Folia microbiologica*, vol. 56 (1), ss. 1-9. DOI 10.1007/s12223-011-0002-8

Schroeder, P. (1994). Carbon storage benefits of agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, vol. 27 (1), ss. 89-97. DOI 10.1007/BF00704837

Schoeneberger, M., Bentrup, G., de Gooijer, H., Soolanayakanahally, R., Sauer, T., Brandle, J., Zhou, X. & Current, D (2012). Branching out: Agroforestry as a climate change mitigation and adaptation tool for agriculture. *Journal of Soil and Water Conservation*, vol. 67 (5), ss. 128-136. DOI 10.2489/jswc.67.5.128A

Seiter, S. & Horwath, W. R (1999). The fate of tree root and pruning nitrogen in a temperate climate alley cropping system determined by three-injected <sup>15</sup>N. *Biology and Fertility of Soils*, vol. 30 (1-2), ss. 61-68. DOI 10.1007/s003740050588

SITES (2018). SITES Spectral. Tillgänglig: <https://www.fieldsites.se/en-GB/sites-provides/sites-thematic-programs/sites-spectral-32634403#Multispectral%20sensors> [2019-05-21]

Smith, J., Pearce, D., B & Wolfe S. M. (2012). Reconciling productivity with protection of the environment: Is temperate agroforestry the answer? *Renewable Agriculture and Food Systems*, vol. 28 (1), ss. 80-92. DOI 10.1017/ S1742170511000585

Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (2018). Sommaren 2018 - Extremt varm och solig. Tillgänglig: <https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/arets-vader/sommaren-2018-extremt-varm-och-solig-1.138134> [2019-05-25]

Sudmeyer, A. R & Speijers, J. (2007). Influence of windbreak orientation, shade and rainfall interception on wheat and lupin growth in the absence of below-ground competition. *Agroforestry Systems*, vol. 71 (3), ss. 201-214. DOI 10.1007/ s10457-007-9070-9

Sveriges Lantbruksuniversitet (2019). Väderstationer. Tillgänglig: <https://www.slu.se/fakulteter/nj/om-fakulteten/centrumbildningar-och-storre-forskningsplattformar/faltforsk/vader/lantmetv/> [2019-05-15]

Tsonkova, P., Böhm, C., Quinkenstein, A & Freese, D (2012). Ecological benefits provided by alley cropping systems for production of woody biomass in the temperate region: a review. *Agroforestry Systems*, vol. 85 (1), ss. 133-152. DOI 10.1007/s10457-012-9494-8

Wolz, K. J & DeLucia, E. H (2017). Alley cropping: Global patterns of species composition and function. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 252, ss. 61-68. DOI 10.1016/j.agee.2017.10.005

Wolz, K. J., Lovell, S. T., Branham, B. E., Eddy, W. C., Keeley, K., Revord, R. S., Wander, M. M., Yang, W. H., DeLucia, E. H. (2017). Frontiers in alley cropping: Transformative solutions for temperate agriculture. *Global Change Biology*, vol. 24 (3), ss. 883-894. DOI 10.1111/gcb.13986

### **Opublicerat material**

Maria Ernfors, forskare. SLU, Institutionen för biosystem och teknologi

Ryan Davidson, tekniker. SLU, Institutionen för biosystem och teknologi

Erik Rasmusson, försöksledare. SLU, Institutionen för biosystem och teknologi