



Sveriges lantbruksuniversitet
Fakulteten för landskapsplanering, trädgårds- och jordbruksvetenskap
Område: Hortikultur
Självständigt arbete vid LTJ-fakulteten, SLU

Frostkänslighet hos matärt, foderärt och sojaböna vid tre tidiga utvecklingsstadier

Frost sensitivity in pea, field pea and soybean at three early developmental stages

John Bergkvist

Examensarbete • 15 hp •
Hortonomprogrammet
Utgivare: Sveriges lantbruksuniversitet, Alnarp 2011

Frostkänslighet hos matärt, foderärt och sojaböna vid tre tidiga utvecklingsstadier

Frost sensitivity in pea, field pea and soybean at three early developmental stages

John Bergkvist

Handledare: Helena Karlén, SLU, Hortikultur

Examinator: Fredrik Fogelberg, Jordbrukstekniska institutet

Omfattning: 15 hp

Nivå och fördjupning: Grundnivå G2E

Kurstitel: Examensarbete inom Hortonomprogrammet 15 p

Kurskod: EX0369

Program/utbildning: Hortonomprogrammet

Utgivningsort: Alnarp

Utgivningsår: 2011

Omslagsbild:

Serienamn: Självständigt arbete vid LTJ-fakulteten, SLU

ISSN:

ISBN:

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

Nyckelord: frostkänslighet, sojaböna, matärt, foderärt, frost, utveckling, utvecklingsstadie



Sveriges lantbruksuniversitet
Fakulteten för landskapsplanering, trädgårds- och jordbruksvetenskap
Hortikultur

Frostkänslighet hos matärt, foderärt och sojaböna vid tre tidiga utvecklingsstadier

John Bergkvist

Examensarbete 15 hp, Hortonomprogrammet, SLU Alnarp

Handledare: Helena Karlén, Ph. D

Examinator: Fredrik Fogelberg, Agr. D

Sammanfattning

I denna studie undersöktes frostkänsligheten hos matärt (*Pisum sativum var. sativum*), foderärt (*Pisum sativum var. arvense*) och sojaböna (*Glycine max*) vid tre olika stadier i plantans tidiga utveckling. Syftet med studien är att öka kunskapen kring hur kulturerna påverkas av låga temperaturer, och genom detta bidra till en ökad odlingssäkerhet, som i sin tur kan optimera avkastning och kvalitet i fält. Plantorna utsattes för en simulerad frost (-2 °C, 10 h) i klimatkammare vid tre olika tidiga utvecklingsstadier. Resultaten visade att det för sojaböna finns en risk för att frost leder till en tillväxthämning i form av mindre bladyta om frostangreppet sker innan dikotyledoner är fullt utvecklade. Foderärtsplantornas vikt var signifikant mindre vid jämförelse med kontroll då köldbehandling skett innan tre bladpar var fullt utvecklade. Ingen skillnad i bladyta vid något av de tre utvecklingsstadierna för foderärt kunde iaktas. Plantor av matärt uppvisade en tillväxtminskning i form av en mindre bladyta vid jämförelse med kontroll vid köldbehandling innan 3 fullt utvecklade bladpar.

Introduktion och bakgrund

Uppkomst och avkastning i sådda kulturer på friland varierar med klimatfaktorer såsom ljusinstrålning, vind, nederbörd och temperatur. Frost är ett av de problem som kan uppstå i odlingen sent på våren, och definieras som när temperaturen faller under 0 °C (Sakai, m fl. 1987a). Detta kan leda till att växten skadas genom frysning. Beroende på växtslag och sort sker utvecklingen av dessa skador på olika sätt. Frysningsskador vid tidig uppkomst kan leda till en sämre kvalitet och en reduktion i skörd, vilket därmed kan hota en stabil produktion (Funatsuki m. fl., 2005).

Sådd av ärt i Sverige brukar ske då lufttemperaturen på våren stigit så pass att ytskikten på jorden i fält torkar in, i dagligt tal kallas det att "jorden reder sig". Tidpunkten för när detta infaller varierar beroende på var man befinner sig i landet, men i Skåne sker det oftast vid eller strax efter månadsskiftet mars-april (Stegmark, 2011). Vid denna tid på året finns det fortfarande en viss risk för

frost i kulturerna. Den sista vårfrosten i de södra delarna av Götaland infaller genomsnitt den 15 april (SMHI, 2011), och längre upp i Götaland och i södra Svealand kan det komma frost långt in i maj.

Köldacklimatisering och köldtolerans – vad sker i växten?

Utbredningsområdet av subtropiska eller tropiska växtslag såsom sojaböna till tempererade zoner begränsas av kulturens känslighet för låga temperaturer. Kulturer anpassade till tempererade zoner däremot, såsom ärt, uppvisar en förmåga att tolerera låga temperaturer (Dumont m.fl, 2011). Detta benämns som köldtolerans och är en inducerad stresstolerans som över tid leder till köldacklimatisering och undvikande av frostsador. Köldacklimatisering är en responsprocess där toleransen för fysiska och fysiologiska skador av köld och frysning gradvis ökar vid exponering av låga temperaturer (Guy, m fl. 2008). En växt som utsatts för köldacklimatisering kommer därför att ha en större möjlighet att överleva än en växt som inte acklimatiserats alls. Köldacklimatiseringsprocessen hos växten sker naturligt i tempererade zoner på friland, men kan även återskapas under kontrollerade förhållanden (Cabané, m. fl. 1993).

Växters förmåga till att utveckla köldtolerans har studerats ingående med syfte att förstå de bakomliggande mekanismerna på molekylär nivå. I fröstadiet finns generellt en mycket god tolerans till låga temperaturer, något som snabbt förloras då frövilan bryts. Guy, 1990, har visat att köldacklimatisering leder till en förändring av proteinsyntesen i växten. Acklimatiseringsprocesserna leder även till en ökning i halten av omättade fettsyror i växten (Herner, m. fl. 1990). Modifikation av fettsyra-kompositionen i växten kan leda till förändringar i växtens anpassning till kyla.

Frost och frysning i växten leder även till en ökning av halten av reaktiva syreradikaler (ROS), vilket bidrar till köldskador genom inhibering av växtens förmåga att försvara sig mot oxidativ stress (Yadegari m. fl, 2008). Inom gruppen reaktiva syreradikaler finns superoxid O_2^- , väteperoxid H_2O_2 , Hydroxylradikaler (OH^\bullet), och enskilt syre 1O_2 , alla vilka förekommer i växten, även under normal aerob metabolism. Dock har växter utvecklat diverse antioxidativa system för att skydda mot skadliga effekter av dessa ämnen, bland annat genom ökat uttryck av antioxidanter såsom askorbas, glutation och α -tocopherol (Yadegari m. fl, 2008).

Att ökade halter av antioxidanter kan leda till ökat skydd mot köldskador i växten har även Anderson m. fl. visat år 1995. Anderson m fl. skriver att låga temperaturer resulterar i ansamlingar av den reaktiva syreradikalen väteperoxid, H_2O_2 , både i koleoptilen, bladet och i mesokotylen hos majs. Köldacklimatisering visade sig förhindra en fortsatt ansamling. Ökade nivåer av antioxidanten glutation i tidiga utvecklingsstadier hos plantorna, ledde till en mer utvecklad förmåga att kontra de negativa effekterna av H_2O_2 .

Växter har även utvecklat andra sätt för att undvika negativa effekter av låga temperaturer. Fowler, m fl. har år 2001 visat att förlängd övergångstid från det vegetativa stadiet till det reproduktiva stadiet skyddar växten från skador under den känsliga blomningsfasen.

En längre period av frost kan även leda till att halterna av det viktiga kvävefixerande enzymet RuBisCo- α sjunker i ärt. Denna minskning kan leda till en lägre effektivitet i fotosyntes, som kan leda till en minskning i tillväxt över lång tid (Gao m fl., 2009).

Sojabönans och ärtens anpassning till kyla

Det finns skillnader i genetisk anpassning till kyla inom populationer av arter. Trots sojabönans tropiska ursprung har den förmågan till köldacklimatisering och uppvisar en stor genetisk variation i anpassningen till köldtolerans (Cabané, m. fl. 1993). Det finns ett ökat intresse av att förädla fram nya, mer köldtoleranta sorter av sojaböna. Gener som är kopplade till förmågan att blomma och utveckla frukt vid lägre temperaturer är speciellt intressanta för odlare i kyligare klimatzoner (Funatsuki, m. fl., 2005).

Även hos ärt finns en variation i anpassningen till kyla. Dumont m fl. analyserade år 2011 två sorter av ärt med olika genetiskt ursprung och hur dessa reagerade på låga temperaturer ('Champagne': hög stresstålighet och tolerans och 'Terese': låg stresstålighet och lägre köldtolerans). Dumont m. fl. analyserade protein från stam, blad och rot med avsikt att finna sambandet mellan växtorgan och köldexponering. Inget tydligt samband kunde hittas, vilket visar på att köldacklimatisering är en väldigt komplex biologisk process. En av anledningarna till att köldacklimatisering kan ske i en av ärttyperna ('Champagne'-linjen) kan vara ett högre uttryck av "housekeeping"-protein, och en större variation i förekomsten av fotosyntes- och försvarsrelaterade protein.

För odlaren innebär frost i kulturen en risk för att grödan skadas eller dör. Beroende på temperaturen under frostangreppet i kulturen kan diverse skadesymptom uppstå som kan ha långtgående effekter både på kvalitet och på avkastning vid skörden. Oftast är det unga plantor och växtvävnader som drabbas hårdast (CIMMYT, 2011). Rent visuellt kan skadorna yttra sig som gula, bruna och vita missfärgningar på växten eller genom blekning av växtvävnadens färg som kan komma av icke-funktionell klorofyllbildning (Sakai, m. fl. 1987). Även klorotiska och nekrotiska vävnader kan uppstå, liksom symptom såsom krympning och deformation av växtvävnad, samt intorkning av vävnader.

Ett vedertaget sätt att minska risken för skador i samband med sen frost i kulturerna är genom att flytta såddtidpunkten till ett senare datum. Syftet med denna studie är att öka kunskapen kring hur låga temperaturer (-2 °C) påverkar kulturer av ärt och av sojaböna, och påvisa vilka utvecklingsstadier som är som känsligast. Detta kommer förhoppningsvis leda till ökad kunskap kring hur såddtidpunkten kan anpassas för att minimera påverkan av frost i kulturer och ge möjlighet till ökad avkastning och kvalitet på skörden.

Material och metoder

I denna studie användes gul foderärt (*Pisum sativum* var. *arvense*) av sorten 'Rocket', gul matärt av sorten 'Clara' (*Pisum sativum* var. *sativum*), samt sojaböna (*Glycine max*) av sorten 'Bohemians'.

Växterna odlades i svarta HIKKO-pluggbrätten av hårdplast, där varje brätte innehöll 40 pluggar. I varje plugg såddes ett frö i torvsubstrat av typen *Hasselfors K-jord*. Totalt såddes 45 brätten, och av dessa användes 27 till behandlingar och 18 till kontroller. Varje behandling replikerades tre gånger för ökad statistisk säkerhet. Sådden för varje replikat skedde med 4 dagars mellanrum, där den första sådden startade 11 april.

I försöken användes två kontrollbrätten för varje behandlat brätte. Kontrollerna och behandlingarna odlades vid den konstanta lufttemperaturen 14 °C i en klimatkammare med dagljus där den relativa luftfuktigheten var 70 %. Ljusinstrålning och ljuskvalité varierade naturligt med väder och dagslängd. Det skedde en kontinuerlig förflyttning och omplacering av växterna inom dagljuskammaren varje dag. Plantorna bevattnades efter behov.

Det utfördes även ett grobarhetstest på sojaböna, matärt och foderärt för att avgöra frökvalitén (tabell 5).

Substrattemperaturen mättes i dagljuskammaren vid olika tidpunkter under dagen, vid olika väderleksförhållanden, samt vid olika positioner i kammaren (Tabell 3 & 4). Även substrattemperaturen i konstljuskammaren uppmättes under frostsimuleringen.

Frostsimuleringen sattes in vid olika utvecklingsstadier som bestämts på förhand, och starten för simuleringen varierade i tid mellan olika växtslag. För sojaböna skedde behandlingarna: (1) VE¹: när hypokotylen kommit upp, (2) VC¹: när dikotyledonen var fullt utvecklad samt (3) V1¹: när ett bladpar var fullt utvecklat. För foderärt och matärt skedde detta vid (1) då uppkomst skett och plantan var ca 2 cm över markytan, (2) Då plantan var ca 5 cm över markytan (3), då tre bladpar var fullt utvecklade.

Frostsimuleringen skedde under ett dygn i en konstljuskammare där frost simulerades under en 10-timmarsperiod vid -2 °C. Före och efter frostbehandlingen skedde en gradvis övergångsperiod då temperaturen först sjönk från +14 °C ner till -2 °C under 4 h. Efter 10 h vid -2 °C ökade temperaturen från -2 °C upp till +14 °C under 4 h. Detta gav växterna en aklimatiseringsperiod och simulerade den temperatursänkning/ökning som kommer i skymning/gryning.

De pluggbrätten som behandlades placerades i kammaren på frigolitblock på vagnar. Ljusstyrkan i kammaren var 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ under en 10-timmarsperiod som sammanföll med de högre temperaturerna, och 0 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ under den period då kylan dominerade. Den relativa luftfuktigheten gick inte att styra under frostbehandlingsgången, men hölls under övrig tid vid 70 %.

Effekten av frostsimuleringen utvärderades tre dagar efter behandlingen. Förekomst av visuella avvikelser studerades och skador som berodde på kyla, såsom missfärgningar, kloros, nekros, vattnighet, skillnad i nodavstånd, och deformationer på blad och stam iaktogs hos växterna.

Försöken skedde 18 dagar efter sådd för matärt och för foderärt, respektive 23 dagar efter sådd för sojaböna. Plantorna vid brättets kant skördades inte, utan enbart de plantor som fanns i brättets centrum skördades, vilket totalt blev 18 st. När tillväxttiden i dagljuskammaren avslutades klipptes samtliga 18 plantor från varje brätte vid jordytan och insamlades för vidare analys.

Varje planta vägdes och medelvärde beräknades för de 18 plantor som tillsammans utgjort en behandling eller en kontroll. Bladytan av tre bladpar mättes för behandlade plantor av foderärt och matärt, och jämfördes med ytan av tre bladpar per planta från kontrollerna. Samma jämförelse skedde även för sojaböna med dikotyledoner och ett bladpar.

Av dessa data sammanställdes medelvärde för varje behandling och kontroll för vikt och bladyta (tabell 1 & 2). Resultaten utvärderades genom variansanalys av envägs ANOVA med blockförsök. Tukey's metod användes för att se om behandlingarna var signifikant skilda från kontrollerna, både med avseende på vikt och på bladyta. Det skedde även en jämförelse mellan de olika behandlingarna av utvecklingsstadierna, för att se om det var något av utvecklingsstadierna som uppvisade tydligare symptom på köldskador än något annat.

¹ Enligt metod utvecklad av Ritchie m. fl (1997). V innebär vegetativt stadie. VE innebär uppkomst, VC innebär kotyledoner, V1 den första noden.

Resultat

Vikt

Det fanns ingen statistisk skillnad i vikt mellan behandlade och obehandlade sojabönsplantor ($p=0,141$).

Tabell 1. Den genomsnittliga vikten av sojaböna, foderärt och matärt vid olika behandlingar. Varje värde är medelvärdet av 18 st plantor som tillsammans utgjorde ett brätte. Vägning gjordes vid skördetillfället, som för sojaböna var 23 dagar efter sådd, och för foderärt och matärt 18 dagar efter sådd. Rader med medelvärden som följs av olika bokstäver är statistiskt skiljda ($p < 0,05$).

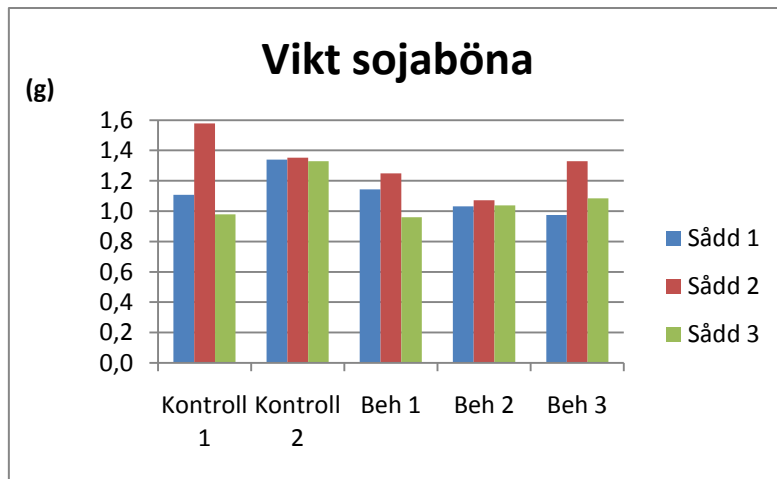
Växtslag	Sojaböna	Foderärt	Matärt
Kontroll	1,22 a	0,96 a	1,17 a
Kontroll 2	1,34 a	1,05 a	1,16 a
Beh 1	1,12 a	0,74 b	0,98 a
Beh 2	1,05 a	0,8 b	0,99 a
Beh 3	1,13 a	0,84 ab	1,09 a

Tabell 2. Den genomsnittliga bladytan i cm^2 av sojaböna, matärt och foderärt. Varje värde är medelvärdet av 18 st plantor som tillsammans utgjorde ett brätte. Dikotyledoner och ett bladpar mättes för sojaböna, och tre bladpar mättes hos foderärt och matärt vid skördetillfället. För sojaböna skedde skörd 23 dagar efter sådd, och för foderärt och matärt 18 dagar efter sådd. Rader med medelvärden som följs av olika bokstäver är statistiskt skiljda ($p < 0,05$).

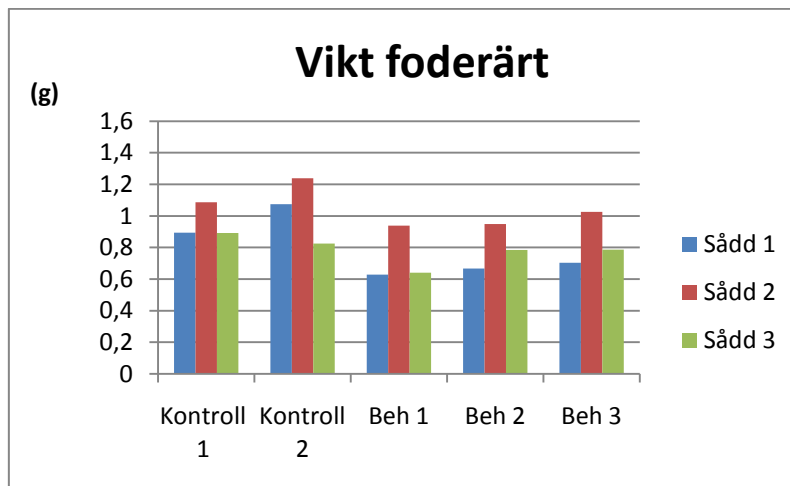
Växtslag	Sojaböna	Foderärt	Matärt
Kontroll	22,9 a	17,2 a	20,2 a
Kontroll 2	26,3 a	18,1 a	20,3 a
Beh 1	14,2 b	13,3 a	15,8 b
Beh 2	18,3 ab	15,7 a	16,7 b
Beh 3	20,4 ab	17,5 a	19,4 ab

Däremot fanns det en signifikant skillnad i vikt mellan behandlad foderärt och obehandlad kontroll vid 95 % konfidensgrad för utvecklingsstadium 1 och 2 ($p = 0,005$), dock inte för stadium 3. Det gick inte att påvisa en skillnad i frostsador behandlingarna sinsemellan. Matärt uppvisade ingen signifikant viktminskning för något av utvecklingsstadierna vid jämförelse med kontroll ($p=0,034$).

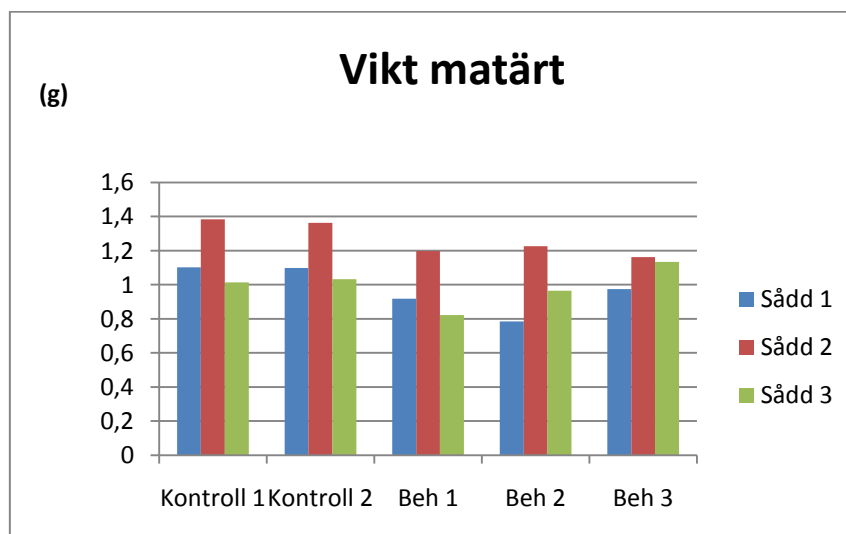
Figur 1. Den genomsnittliga vikten av en sojabönsplanta från frostsimulering 1, 2, 3 samt två kontrollbrädden. Varje stapel representerar medelvärdet av 18 st plantor som tillsammans utgjorde ett brätte



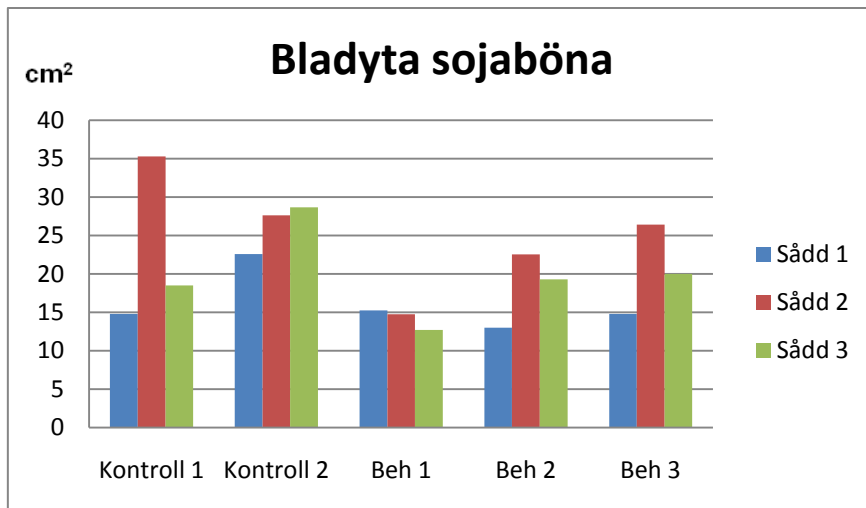
Figur 2. Den genomsnittliga vikten av en foderärtsplanta från frostsimulering 1, 2, 3 samt två kontrollbrädden. Varje stapel representerar medelvärdet av 18 st plantor som tillsammans utgjorde ett brätte



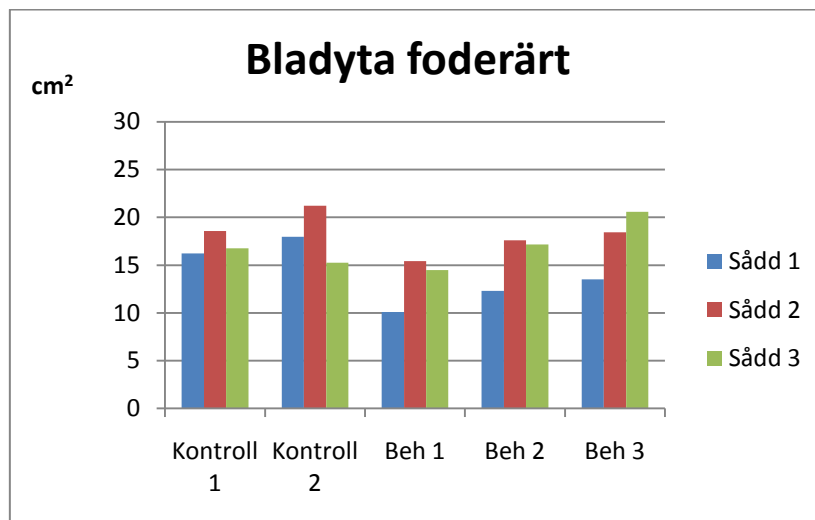
Figur 3. Den genomsnittliga vikten av en matärtsplanta från frostsimulering 1, 2, 3 samt två kontrollbrädden. Varje stapel representerar medelvärdet av 18 st plantor som tillsammans utgjorde ett brätte



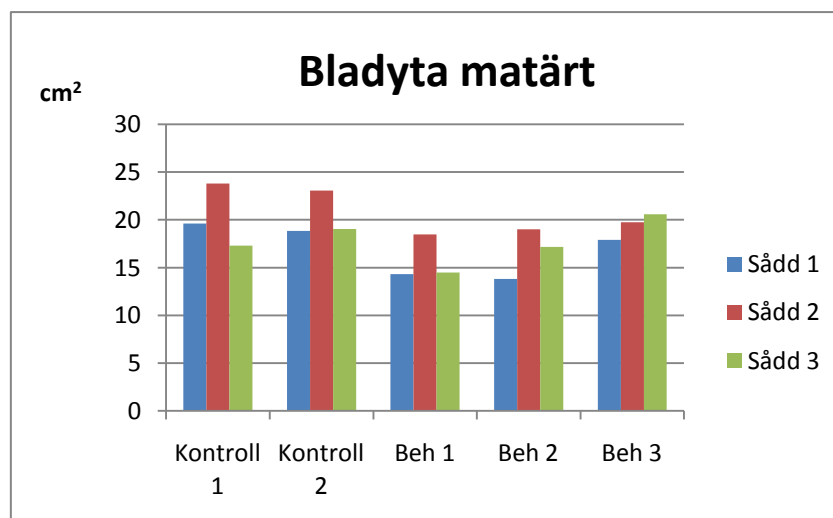
Figur 4. Skillnader i den genomsnittliga bladytan mellan behandlad sojabönsplanta och obehandlad vid tre olika såtillfällen



Figur 5. Skillnader i den genomsnittliga bladytan mellan behandlad foderärtsplanta och obehandlad vid tre olika såtillfällen



Figur 6. Skillnader i den genomsnittliga bladytan mellan behandlad matärtsplanta och obehandlad vid tre olika såtillfällen



Bladyta

Variansanalys med hjälp av Tukeys' metod visar att finns en risk för att sojaböna som drabbas av frost i utvecklingsstadie 1 får en tillväxthämning som leder till mindre bladyta vid jämförelse med kontroller ($p=0,049$). Resultatet är signifikant men ligger precis innanför gränsen. Det gick inte att signifikant skilja utvecklingsstadie 2 och 3 vare sig från behandling 1 eller från kontrollerna.

Foderärt som utsattes för frost uppvisade ingen skillnad i bladyta vid jämförelse med kontrollerna för något av de tre utvecklingsstadierna ($p=0,059$). Det fanns en minskning i bladyta hos matärt för behandling 1 och 2 vid jämförelse med kontroller ($p=0,005$). Behandling 3 gick inte att skilja från de övriga behandlingarna eller från kontrollerna.

Övriga iakttagelser - synliga skador

Det fanns inga skador på rotsystemet hos några av de behandlade växterna. Synliga störningar i tillväxten kunde iaktas hos ett fåtal av de sojabönsplantor i det brätte som utsatts för frost i det första utvecklingsstadiet (VE). Vid visuella jämförelser med kontrollplantor efter en veckas tid kunde en tillväxthämning i den apikala tillväxtpunkten iaktas hos dessa få plantor. Detta påverkade utvecklingen av det första bladparet. Nekros utvecklades med tiden i detta område, och bladparet visnade och dog. Dikotyledonerna påverkades inte märkbart. Samtidigt ledde detta till en onaturlig utveckling av stipebladen. Det är möjligt att detta kan ha skett för att kompensera för utebliven energi som kan komma av minskad fotosyntes. Se *figur 7*.

Figur 7. Sojabönsplanta från köldbekhandling 1 (VE). Första bladparet har drabbats av nekros, vilket har lett till tillväxthämning och förkortat internod mellan bladpar och dikotyledoner. Jämför *figur 8*



Figur 8. Sojaböna från köldbehandling 3 (V1). Inga tydliga skador kan iakttas. Jämför *figur 7*



Substrattemperaturen mättes i behandlingar och kontroller och resultaten varierade stort beroende på väderlek och instrålning vid mätningstillfället.

Tabell 3. Substrattemperaturen i dagljuskammaren vid olika tidpunkter och väderleksförhållanden

Vecka	Substrattemperatur (°C)	Väderlek	Tidpunkt
18	24	Klart	14.00
18	21	Halvklart	14.00
18	24	Klart	12.30
18	27	Klart	15.00
18	20	Halvklart/mulet	12.30

Substrattemperaturen mättes i konstljuskammaren under frostsimuleringen efter försökets slut (*tabell 4*)

Tabell 4. Substrattemperaturen i dagljuskammaren vid olika tidpunkter

Substrattemperatur (°C)	Lufttemperatur	Tid efter frostsimuleringens start
1	-2	1 h
0	-2	2,5 h

Tabell 5. Beskrivning av grobarhet och gröningsenergi för de tre fröpartierna som användes i försöket

Växtslag	Grobarhet	Tusenkorntvikt (g)
Sojaböna	94%	-
Foderärt ²	96%	224,2
Matärt ²	94%	233,2

Det fanns individuella variationer i uppkomsten mellan olika brätten av sojaböna, matärt och foderärt, vilket kan förklaras med skillnader i arvsanlag inom fröpartierna. Detta ledde även till en viss variation i uppkomsten inom varje brätte. De klimatiska förutsättningarna för de olika replikaten varierade beroende på faktorer såsom ljusmängd, antalet soltimmar, och ljuskvalitet, vilket också kan ha haft en inverkan.

Diskussion

Studien visar att det finns en viss risk att frost vid $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ vid tidiga utvecklingsstadier minskar tillväxten hos foderärt och matärt. Detta uttryckte sig som en minskning i vikt hos foderärt och en mindre bladyta hos matärt. Dumont m.fl. har år 2011 visat att inducerad frostresistens hos ärt kan medföra en omorientering av energimetabolismen via fotorespirationssystemet. Detta leder till ökad ackumulering av glutation, vilket leder till en begränsad tillväxt. Fotorespiration är ett mycket ineffektivt sätt för växtens energiproduktion och sockerinlagring (Raven m.fl. 2005). Lägre nivåer av mitokondriellt ATP-syntas kan bidra till ökad fotorespiration, visade Wingler m. fl år 2000. Detta kan vara en förklaring till iakttagna resultat av tillväxtminskning.

Inget växtslag uppvisade både en signifikant skillnad i både bladyta och i vikt. Detta skulle gett en tydligare indikation på frostkänsligheten hos kulturerna. Resultaten visar även att sojaböna påverkas av frost vid dessa temperaturer vid utvecklingsstadie 1.

Det är direkt efter groning och speciellt vid uppkomst som växten tappar mycket av den köldresistens som funnits i fröstadiet, skriver Sakai, m. fl, år 1990b. Just i fasen av kraftig cellsträckning är växten som känsligast för skador i samband med frost. Nielsen visade år 2002 att det är möjligt för sojabönsskottet att återhämta sig så länge den apikala tillväxtpunkten inte har tagit kraftig skada. Det är inte möjligt för växten att återhämta sig då skadorna sträcker sig längre ner och även innefattar kotyledonerna. Det fanns dock inga synliga skador alls på dikotyledonerna för någon av behandlingarna i denna studie.

Foderärt uppvisade en viktminskning i utvecklingsstadie 1 och 2, medan matärten visade en minskning i bladyta för stadie 1 och 2. En förklaring till detta kan vara ärtsorternas olika genetiska ursprung som kan leda till att de reagerar olika vid frost. Den gula matärten av sorten 'Clara' är framförädlad av Svalöf Weibull i Sverige, medan foderärten av sorten 'Rocket' kommer ifrån Danmark, där den förädlats fram av Toft Plantbreeding APS (Ingmarsson, 2011).

Bladytan och vikten hos nästan samtliga behandlingar och kontroller var högre under sådd 2 än under någon annan sådd. En förklaring till detta kan vara skillnader i den totala instrålningen under försöksperioden. Instrålningen var mycket kraftig under denna period, något som har lett till en

² Ur broschyr: *Sortförsök i ärtor*, Ljungars A., 2008.

kraftig positiv temperaturavvikelse i hela landet i april (SMHI, 2011). En ökad ljusinstrålning kan leda till högre kolhydratassimilering i växten, vilket i sin tur kan ge kraftigare biomassa och bladytta. Klart väder visade sig även påverka substrattemperaturen positivt vilket även kan varit en bidragande faktor i tillväxten.

En av anledningarna till den höga substrattemperaturen i dagljuskammaren kan vara odlingsbrätternas svarta färg. Detta kan ha lett till en högre tillväxthastighet. Under odlingsperioden var det många dagar då det var klart och soligt väder, vilket gav höga substrattemperaturer under dagen under stora delar av odlingsperioden. Det är mycket möjligt att denna temperaturökning även sker i fält, så det är oklart om substrattemperaturen på något sätt påverkade studiens resultat.

Vid frostsimuleringens start hade det skett en kraftig tillväxt av växternas rotsystem genom substratet och ut genom brättets undersida. För att skydda rotsystemet, som under förhållanden i fält inte är direkt exponerat, konstruerades en frigolitplatta som användes som skydd i botten på vagnen. Detta minskade risken för att rotsystemet skulle skadas av de låga temperaturerna. Det fanns inga tydliga skador på rotsystemet efter frostsimuleringen och vattenuptagningsförmågan fungerade bra.

Beroende på klimatkammarens uppbyggnad och växternas placering på vagnar i kammaren hamnade vissa växter i skugga vissa dagar. Detta komparerades det för genom att behandlade brätten såväl som kontroller omplacerades kontinuerligt under försökets gång. Detta skedde även för att återskapa den variation i klimatfaktorer som naturligt finns under fältförhållanden. De klimatfaktorer som inte gick att efterlikna var vind och blåst. Den relativa luftfuktigheten kunde hållas konstant. Vissa brätten placerades i kraftigare drag än andra, som uppstod på grund av klimatkammarens uppbyggnad vilket skapade en viss variation. Dock är variationen i fält mycket större.

Slutsatser

När kan man så på våren?

För matärt och foderärt tog det ca 17 dagar att nå utvecklingsstadie 3 vid 14 °C i dygnsmedeltemperatur, och det var vid detta utvecklingsstadie som växterna inte påverkades signifikant av frost. I Skåne inleds sådd av ärt vanligtvis runt månadsskiftet mars/april (Stegmark, R.). Den sista vårfrosten infaller runt 15 april i de södra delarna av Skåne (SMHI), så månadsskiftet mars/april kan vara en bra tidpunkt för sådd i dessa områden. I höjd med Eslöv och Hörby infaller den sista vårfrosten i snitt runt den 1:a maj. Längre upp i landet kommer frosten allt senare.

Resultaten visar att det finns ökade möjligheter för odling av sojaböna i Sverige, om sådd sker vid en tidpunkt och geografisk plats i Sverige där frostrisken är lägre, förslagsvis i Skåne i mitten av april och framåt. Det är möjligt att lokalklimatet kan ha en viss inverkan på kulturerna i området.

Temperaturen 14 °C i dagljuskammaren valdes för att simulera de tillväxtförhållanden som råder i Sverige under en genomsnittlig månad i maj/juni. Ursprungligen var idén att simulera temperaturen under tidig april för att motsvara tidpunkten för sådd av ärt i Sverige. Dock skulle detta innebära en lägre temperatur och tillväxthastighet. Eftersom studien skulle genomföras på given tid fanns det inte möjlighet att hålla en något lägre dygnsmedeltemperatur.

I studien iakttogs eventuella skador tre dagar efter frostsimuleringen. Enligt Nielsen kan det dröja flertalet dagar innan visuella skador kan bli urskiljbara, och Nielsen rekommenderar att vänta upp till 5 dagar innan analys sker. Tidsramarna för studien begränsade möjligheterna till detta, men under ultimata förhållanden skulle iakttagelserna gjorts efter en längre tid. Dock gav dessa iakttagelser ingen inverkan på resultatet i studien, då vikt och bladyta var basen för undersökningen.

Till odlingen av sojaböna, foderärt och matärt användes svarta odlingsbrätten, vilket gav en högre substrattemperatur än lufttemperatur. Detta har kunnat ge en viss variation i uppkomsthastighet och kan därmed ha lett till en osäkerhet i resultatet. Dock är detta inte fastställt då temperaturen i jorden även fluktuerar kraftigt i fält. I framtiden föreslås en odling av växtslag i material av annan färg eller under andra förutsättningar, förslagsvis med jämna mätningar av substrattemperaturen i fält vid liknande klimatförhållanden för jämförelse.

Den subjektiva bedömningen av köldskador på sojaböna försvårades av att det uppstod brännskador på dikotyledonerna i dagljuskammaren, vilket gav liknande symptom som vissa av stresskador som är beskrivna i litteraturen. Dock ingick ingen subjektiv bedömning i den statistiska undersökningen, så resultatet har inte påverkats av eventuella brännskador.

Fler replikat av behandlingarna kan öka den statistiska säkerheten i studien, och ge ett tydligare resultat.

En längre och mer djupgående undersökning föreslås därför i framtiden, med undersökningar vid lägre temperaturer som simulerar frost i mars/april, och med fler växtslag. Detta skulle kunna ge mer information kring växtens köldacklimatiseringsprocesser vid ännu lägre temperaturer, och hur detta påverkar frosttoleransen hos växten. Det är möjligt att studier av frosttålighet vid låga temperaturer kan ge liknande effekter även på andra växtslag ur samma familj, såsom brun böna och åkerböna. Det behövs även studier där frosttåligheten i gröningsstadiet undersöks. Vidare studier föreslås för att avgöra detta och för att öka kunskapen kring frosttåligheten av dessa växter.

Referenser

- Alden J., & Hermann R. K. (1971) *Aspects of the Cold-hardiness Mechanism in Plants*, School of Forestry: Oregon State University
- Anderson M., Prasad T. K., Stewart C. R. (1995) *Changes in Isozyme Profiles of Catalase, Peroxidase, and Glutathione Reductase during Acclimation to Chilling in Mesocotyls of Maize Seedlings*, Plant Physiol. 109: 1247-1257
- Cabane M., Calvet P., Vincens P., Boudet A. M. (1993) *Characterization of chilling-acclimation-related proteins in soybean and identification of one as a member of the heat shock protein (HSP 70) family*
- Dumont E., Bahrman N., Goulas E., Valot B., Sellier H., Hilbert J.L., Vuylsteker V., Lejeune-Hénaut I., Delbreil B. (2011) *A Proteomic Approach to Decipher Chilling Tesponse from Cold Acclimation in Pea*, Plant Science 180:86–98
- Englund J. E., Engstrand U., Olsson U. (2008) *Biometri - Grundläggande biologisk statistik*, s. 227. Malmö: Holmbergs AB.
- Fowler D.B., Breton G., Limin A.E., Mahfoozi S., Sarhan F.,(2001) *Photoperiod and Temperature Interactions Regulate Low-temperature-induced Gene Expression in Barley*, Plant Physiol. 127: 1676–1681.

- Funatsuki H., Kawaguchi K., Matsuba S., Sato Y., Ishimoto M. (2005) *Mapping of QTL Associated with Chilling Tolerance during Reproductive Growth in Soybean* Theor. Appl. Genet. 111: 851–861
- Fredrik Fogelberg, Agr D., Intervju, 2011-04-27, Alnarp
- Gao F., Zhou Y., Zhu W., Li X., Fan L., Zhang G., (2009) *Proteomic analysis of cold stress-responsive proteins in Thellungiella rosette leaves*, Planta 230: 1033–1046
- Guy C., Kaplan F., Kopka J., Selbig J., Hinch D.K. (2008) *Metabolomics of temperature stress*, Physiol. Plant. Vol 132: 220–235.
- Guy C. L., (1990) *Cold Acclimation and Freezing Stress Tolerance: Role of Protein Metabolism* Plant Physiol. & Plant Mol. Biol. Vol. 41: 187-223
- Herner R., Wang, C. Y. (1990) *Chilling Injury of Horticultural Crops*, s. 62. Florida: CRC Press.
- Ingmarsson, N. *Privat samtal*, 2011-06-09
- International Maize and Wheat Improvement Center, 2011, <http://wheatdoctor.cimmyt.org/pests-a-diseases/list/86-frost-damage?lang=en>
- Kilpatrick R. A., Judd R. W., Dunn G. M. och Rich A. E. (1966) *Agents Affecting Survival of Red and White Clovers Exposed to Low Temperatures in a Freezing Chamber*, Crop Science: Vol. 6 No. 5, p. 499-501
- Ljungars, A. (2008) *Sortförsök i örter* Hushållningssällskapet i Kristianstad. <http://www.skaneforskoken.nu/dokument/Sort%20%C3%A4rter.2008.pdf>
- Morrison MJ, Voldeng HD, Guillemette RJD (1994) *Soybean Pubescence Color Influences Seed Yield in Cool-Season Climates*. Agronomy J 86:796–799
- Morrison MJ, Voldeng HD, Guillemette RJD, Cober ER (1997) *Yield of Cool-season Soybean Lines Differing in Pubescence Color and Density*. Agronomy J 89:218–22
- Nielsen R. L., Christmas E. (2002) *Early Season Frost & Low Temperature Damage to Corn and Soybean*, Agronomy dept: Purdue University
- Raven P. H., Evert R. F. och Eichhorn S. E. (2005) *Biology of Plants*, 7th ed. New York: Freeman and Company.
- Ritchie, S. W., Hanway J. J., Thompson H. E., Benson G. O. (1997) *How a Soybean Plant Develops* Special Rep. 53. Iowa State Univ., Coop. Extension Serv. Ames, Iowa.
- Sakai A., Larcher W. (1987) *Frost Survival of Plants: Responses and Adaptations to Freezing Stress. A: s. 1, B s. 171*, Springer-Verlag: New York.
- SMHI, 2011-05-24 site: http://www.smhi.se/sgn0102/maps/avv_day_201104.htm
- Stegmark, Rolf. Ph. D. Intervju, 2011-03-30 till 2011-05-23
- Sverker Hellström, *Mailkorrespondens*, 2011-04-27, Klimatolog, SMHI
- Takahashi R, Asanuma S (1996) *Association of T gene with Chilling Tolerance in Soybean*. Crop Sci 36:559–562
- Wingler A., Lea P.J., Quick W.P., Leegood R.C., (2000) *Photorespiration: metabolic pathways and their role in stress protection*, Philos. Trans. R. Soc. Lond. B 355 1517–1529.

Wise, R.R., Naylor, A. W. (1987) *The Peroxidative Destruction of Lipids During Chilling Injury to Photosynthesis and Ultrastructure*, Plant Physiol. 83:272-277

Yadegari L. Z., Heidari R., Carapetian J. (2008) *Chilling Pretreatment Causes Some Changes in Respiration, Membrane Permeability and Some Other Factors in Soybean Seedlings*, Research Journal of Biological Sciences, 3(9): 1054-1059