

30 Juni 2016, Slutrapport för

Projektnummer_H1233151

Bedömning av risken för frostsador i höstvetete utifrån sorters frosttolerans med hjälp av en simuleringsmodell och fältförsöksdata

1. Bakgrund

Utvintring på grund av låga temperaturer orsakar betydande förluster inom veteodlingen. Höstvetets tolerans för låga temperaturer är sortspecifik, beror på utvecklingsstadium och miljöförhållanden, och ändras kontinuerligt under vintersäsongen. Förekomsten av frostsador beror på när köldknäppar inträffar under säsongen. Kunskap om samband mellan en sorts maximala frosttolerans (LT50min) och marktäckning i fält på våren bidrar till att öka odlings säkerheten. Detta projekt syftade till att utveckla och testa metodikerna för att beräkna risken för frostsador i höstvetesorter med olika maximal frosttolerans. Detta har undersökts genom att i fält gradera vinteröverlevnaden som procent marktäckning på våren. Den aktuella frosttoleransen beskrivs med LT50, den temperatur när 50 procent av plantorna i ett bestånd dör. Den lägsta LT50 temperaturen (LT50min) en höstvetesort kan nå bestäms i frystester. FROSTOL modellen, som simulerar LT50 som funktion av temperatur och snödjup, har anpassats för att förutse utvintringssador i fält, utifrån respektive sorts LT50min. Projektet har tillämpat denna modell på fältexperiment och resulterat i en metod att bestämma frosttoleransen hos höstvetesorter som odlas i Sverige. Metoden kan användas i sortförsök för att beräkna den specifika risken för utvintring för olika sorter. Marktemperaturdata som används i FROSTOL är ofta beräknad eller simulerad, och förknippad med osäkerhet. Därför utvärderade vi olika metoder för att beräkna marktemperaturen på ca 2 cm djup från väderdata (lufttemperatur och snötäcke) som normalt mäts på väderstationer och markkaraktistik, inklusive påföljande inverkan på simulerad LT50 under vintern.

2. Material och metoder

2.1. Fältförsök

Fältförsök genomfördes på Säby (59° 49' N, 17° 39' E) sydöst om Uppsala vintersäsongerna 2013-14 och 2014-15. Sorterna Bjørke, Ceylon, Elvis, och Gnejs såddes den 26 september 2013. Hösten 2014 innefattade försöket två sådatum, 10 september och 6 oktober, för att öka möjligheterna att identifiera eventuella skillnader i köldtålighet mellan sorter. Säsongen 2014-15 byttes sorten Elvis ut mot sorten Premio för att öka variationen i köldtålighet mellan sorterna. Försöken var bägge åren blockade med fyra upprepningar.

Marktemperaturen registrerades med temperaturloggar på 2 cm djup på olika platser i försöket (skillnader mellan platser i försöket var liten). Marktäckningen graderades i november innan låga temperaturer, som bedömdes kunna skada beståndet, hade registrerats, och i slutet av april enligt metoder som används i sortprovningen i Sverige (FältForsk, 2012). Försöken bekämpades i november 2013 och 2014 med fungiciden Sportak (dos 1 L ha⁻¹) för att minimera risken att eventuella angrepp av utvintringssador orsakade av svamp skulle kunna påverka plantornas köldtålighet och vinteröverlevnad.

2.2. Frystester (bestämning av maximal frosttolerans, LT50min)

Från varje sort och block grävdes, 18 november 2013 och 23 november 2014, 60 plantor upp ur fältet för laborativ bestämning av köldtolerans. Plantorna tvättades fria från jord och transporterades i kylboxar med temperaturmätning till NIBIO i Kvithamar utanför Trondheim där den aktuella köldtoleransen bestämdes i frystest enligt en metod från Limin and Fowler (1988). Plantorna klipptes ned till 2 cm rotlängd och 3 cm skottlängd, och placerades i fuktig sand på aluminiumbrickor i ett programmerbart frysskåp. Temperaturen i frysskåpet sänktes, från utgångstemperaturen 2 °C, med 2 °C per timme ned till -3 °C varefter frysskåpet höll denna temperatur i 12 timmar. Därefter sänktes temperaturen med 2 °C per timme till dess att testets minimumtemperatur nåtts. Sampel om tio plantor per sort och block togs ut vid fem testtemperaturer, -13, -15, -17, -19 och -21 °C hösten 2013, och hösten 2014, -9, -12, -14, -16 och -19 °C. Dessa plantor tinades i 2 °C över natten varefter de planterades om i torvkrukor och odlades i en växtkammare med 18 °C och 18 timmar daglängd. Andelen döda plantor för varje temperaturbehandling observerades efter tre veckor, varefter det aktuella LT50 värdet kunde bestämmas. Utöver plantorna som togs ut från frysbehandlingarna vid de fem testtemperaturerna odlades också en uppsättning kontrollplantor som förvarats i en temperatur på 2 °C och i övrigt hade hanterats som plantorna i frysbehandlingarna. Med hjälp av registrerat sådatum och marktemperatur i försöken kunde utvecklingen av LT50 för ett antal hypotetiska sorter med ett antaget LT50min simuleras från sådd fram till provdatum. Det aktuella LT50-värdet i respektive sort kunde därefter passas in mot någon av de simulerade LT50-kurvorna för de hypotetiska sorterna. Därmed kunde den sorts specifika maximala frosttoleransen (LT50min) bestämmas.

2.3 Simulering av aktuell frosttolerans (LT50) och test av predikterad utvintring

Modellen FROSTOL simulerar den dagliga utvecklingen av plantornas frosttolerans under höst- och vinterperioden baserat på temperaturdata från 1-5 cm under markytan, snödjup, samt information om den aktuella höstvetesortens maximala frosttolerans (LT50min). Plantornas frosttolerans ökar under härdning inom temperaturintervallet 0-10 °C. Vid högre temperaturer minskar plantornas aktuella frosttolerans genom avhärdning. Frosttoleransen kan också reduceras vid låga temperaturer på gränsen till vad plantorna överlever (lågtemperatur-stress) och under förhållanden med snötäcke på otjälad mark (respirationsstress). Dessutom förlorar plantorna sin härdningsförmåga efter full vernalisering och avhärdning kan inträffa vid lägre temperaturer än innan vernaliseringsbehovet är uppfyllt. FROSTOL-modellen har blivit utvidgad till att också inkludera en funktion som relaterar marktäckning om våren till skillnaden mellan dagliga värden för marktemperaturen och simulerad LT50.

I försöksfältet på Säby observerades procent marktäckning (andel av markyta täckt av växten) för varje sort och block i november och april för att få ett mått på eventuell vinterskada. För att få ett större dataunderlag att testa FROSTOL-modellen mot, hämtades dessutom data från 13 sorts försöksfält med höstvede från säsongen 2011/12 i Sverige och sju sortförsöksfält i Norge från 2012/13, från vilka observerad marktäckning höst och vår användes som mått på vinterskada (Tabell 1). Luft- eller marktemperatur och snödjup registrerades vid närliggande klimatstationer. I de fall marktemperaturen inte registrerats på 1-5 cm djup beräknades den från observerad lufttemperatur och snödjup.

För de fem höstveteorterna Ceylon, Bjørke, Ellvis, Gnejs och Premio som ingick i fältförsöken på Säby beräknades LT50min värden på -23, -22, -22, -18 respektive -16 °C baserat på frosttoleranstesterna hösten 2013 och 2014. Dessa värden användes i sedan för att simulera procent vinterskada. Av dessa sorter var det dock bara Ceylon och Ellvis som ingick i sortförsöken från Sverige 2011/12 och enbart Bjørke i försöken 2012/13 i Norge (Tabell 1).

Tabell 1. Geografisk placering av fältförsök 2011/12 och 2012/13 som ingick i test av FROSTOL-modellen där observerad vinteröverlevnad i försöksfälten jämfördes med den vinteröverlevnad som simulerats med FROSTOL.

Fält	Plats	Antal sorter	Temperatur	Snödjup
Furulund (S)	55° 47' 46'' N, 13° 6' 7'' E	51	Borgeby ^a (Lantmet)	Lund (SMHI)
Järpås (S)	58° 22' 50'' N, 12° 58' 20'' E	51	Lanna ^a (Lantmet)	Skara (SMHI)
Borrby (S)	55° 27' 28'' N, 14° 10' 44'' E	51	Sandby ^a (Lantmet)	Brösarp (SMHI)
Ängelholm (S)	56° 14' 45'' N, 12° 51' 50'' E	51	Ängelholm ^a (SMHI)	Munka-Ljungby (SMHI)
Klagstorp (S)	55° 23' 34'' N, 13° 22' 20'' E	51	Falsterbro ^a (SMHI)	Lund (SMHI)
Vreta kloster (S)	58° 28' 52'' N, 15° 30' 53'' E	51	Vreta kloster ^a (Lantmet)	Linköping (SMHI)
Eskilstuna (S)	59° 22' 16'' N, 16° 30' 35'' E	51	Eskilstuna ^a (SMHI)	Västerås (SMHI)
Grästorp (S)	58° 20' 3'' N, 12° 40' 49'' E	51	Logården ^a (Lantmet)	Skara (SMHI)
Vallåkra (S)	55° 57' 44'' N, 12° 51' 27'' E	44	Helsingborg ^a (SMHI)	Landskrona (SMHI)
Eldsberga (S)	56° 35' 56'' N, 12° 59' 18'' E	42	Lilla Böslid ^a (Lantmet)	Halmstad (SMHI)
Motala (S)	58° 32' 17'' N, 15° 2' 50'' E	42	Skänninge ^a (Lantmet)	Vadstena (SMHI)
Ingelstorp (S)	55° 26' 7'' N, 14° 2' 1'' E	32	Gårdsjö ^a (SMHI)	Älgårås (SMHI)
Laholm (S)	56° 30' 21'' N, 13° 2' 44'' E	32	Melby ^a (Lantmet)	Laholm (SMHI)
Sarpsborg (N)	59° 17' 3'' N, 11° 6' 34'' E	15	Øsaker ^b (LMT)	Sarpsborg (NMI)
Sem (N)	59° 16' 56'' N, 10° 19' 48'' E	15	Ramnes ^b (LMT)	Ramnes (NMI)
Skotselv (N)	59° 50' 42'' N, 9° 53' 3'' E	15	Hokksund ^b (LMT)	Drammen (NMI)
Sørum (N)	59° 58' 50'' N, 11° 19' 19'' E	15	Skjetten ^b (LMT)	Oslo (NMI)
Hov (N)	60° 41' 55'' N, 10° 21' 7'' E	15	Gran ^b (LMT)	Nes (NMI)
Apelsvoll (N)	60° 42' 4'' N, 10° 52' 21'' E	15	Apelsvoll ^a (LMT)	Nes (NMI)
Ilseng (N)	60° 46' 33'' N, 11° 13' 38'' E	15	Ilseng ^b (LMT)	Nes (NMI)

SMHI = Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut, NMI = Norsk Meteorologisk Institutt

^a Krontemperatur som beräknades från observerad lufttemperatur och snödjup.

^b Krontemperatur sattes lika med uppmätt marktemperatur på 1 cm djup.

Fyra andra höstvetesorter (Frontal, Kepler, KWS Cobalt och Pentadur) valdes ut från sortförsöken för att öka sortvariationen i testen av FROSTOL. Baserat på genomsnittlig vinteröverlevnad i sortförsöken, beräknades LT50min för de utvalda sorterna till -20, -18, -18 respektive -16 °C. Därefter jämfördes simulerade procentandelar vinterskada med differensen mellan observerad marktäckning på hösten och våren i försöken (Tabell 1).

2.4. Effekter av osäkerhet i marktemperaturdata

För att uppskatta betydelsen av att mäta marktemperaturen vid kronan, plantornas tillväxtpunkt ca 1-3 centimeter under markytan, jämfört med att beräkna den utifrån väderdata, observerades marktemperaturen på 2 cm djup i Ultuna, Sverige (59° 49'N; 17° 39'E; 24 m öh) och på 1 cm djup i Ås (59° 40'N; 10° 47'E; 94 m öh), och Ilseng, Norge (60° 46'N; 11° 13'E; 182 m öh). Fyra alternativa marktemperaturmodeller användes för beräkningarna. Dessa täckte spannet av komplexitet från att helt enkelt anta krontemperaturen vara lika med den observerade lufttemperaturen, till två statistiska samband mellan lufttemperatur, snötäcke och marktemperatur (från tidigare studier av köldtolerans hos höstvet av Ritchie, 1991 respektive Vico et al., 2014), till en dynamisk markvärme- och vattenomsättningsmodell (SOIL-modellen; Jansson 1998). Den senare beaktar förutom temperatur och nederbörd detaljerad information om markfysikaliska förhållanden och kräver detaljerad platspecifik input-data. I denna studie användes därför en tidigare parameterisering av SOIL-modellen (Kätterer and Andrén, 1995) för en mark i närheten av väderstationen på Ultuna. Modellen testades enbart mot data på Ultuna. Modellerna från Ritchie (1991) och Vico et al (2014) testades för alla tre platserna. Därefter utvärderades effekterna av osäkerheterna i de beräknade marktemperaturerna mot den simulerade aktuella frosttoleransen (LT50-värdet) och risken för utvintring (funktion av skillnaden mellan marktemperaturen och LT50). Skillnaden mellan LT50 värdet och marktemperaturen baserad på beräknad marktemperatur jämfördes med motsvarande skillnad baserad på observerad marktemperatur, för en medelhärdig sort (LT50min = -18 °C).

3. Resultat

3.1 Utvintring fältförsök

Sorten Gnejs hade svag uppkomst och tillväxt i försöket på Säby hösten 2013 och 2014. Marktäckning var 79 % hösten 2013, och 67 respektive 23 % efter första respektive andra sådden hösten 2014. Sorten Björke grodde inte alls hösten 2014. De andra sorterna hade en bra uppkomst och en marktäckning mellan 90 och 100 procent båda åren och efter båda sådatum. Genomsnittlig procent marktäckning för Ceylon, Björke, Elvis och Gnejs våren 2014 var 90, 86, 88 respektive 50 procent. Våren 2015 var marktäckningen för Ceylon, Premio och Gnejs 91, 96 respektive 75 procent för de plantor som såddes 10 september och 84, 83 respektive 7 procent för de sorter som såddes 6 oktober.

3.2 Frystester

Plantorna som frystestades i november 2013 var i 3 blad-stadiet (Zadoks 13). Hösten 2014 var plantor som såtts 10 september i Zadoks stadium 22, och de plantor som såddes 6 oktober i Zadoks-stadium 12-13 vid tidpunkten för frystesterna i november. Observerad

procent levande och döda plantor vid 2013 års test gav LT50 för Ceylon, Björke, Ellvis och Gnejs på -16.8, -16.4, -16.3 respektive -15.6 °C (Tabell 2). Hösten 2014 hade Ceylon ett LT50-värde på -14 °C efter sådd 10 september och -14.4 °C efter sådd 6 oktober. Sorten Premio hade den lägsta frosttoleransen, (-9.9 och -10.1 °C efter sådd 10 september respektive 6 oktober). Plantorna av sorten Gnejs som sågts 10 september hade ett LT50-värde på -10.9 °C, medan de från sådden 6 oktober hade LT50-värdet -13.7 °C. Jämförelsen av resultaten från frystesterna med simulerad LT50 för en uppsättning hypotetiska sorter med olika LT50min visade på en viss variation mellan åren för en och samma sort. För 2013 beräknades LT50min för Ceylon, Björke, Ellvis och Gnejs till -20, -20, -19 respektive -18 °C, och för 2014 var LT50min för Ceylon, Gnejs och Premio -23, -18 respektive -16 °C efter sådd 10 september, och -23, -22 och -16 °C efter sådd 6 oktober.

Tabell 2. Genomsnittlig procent marktäckning (± 1 s.e.m.) i november och april i fältförsök på Säby, observerad frosttolerans ($LT_{50\ 18\ Nov}$) vid frystest, samt beräknad maximal frosttolerans (LT_{50min}) för fyra höstvetesorter 2013/14, och tre sorter och två sådatum 2014/15.

2013/14	% marktäckning, höst	% marktäckning, vår	$LT_{50\ 18\ Nov}$, °C	LT_{50min} , °C
Ceylon	99 \pm 1.5	90 \pm 11.9	-16.8 \pm 1.5	-20
Björke	99 \pm 1.9	86 \pm 8.3	-16.4 \pm 2.0	-19
Ellvis	100 \pm 0.0	88 \pm 8.9	-16.3 \pm 1.5	-19
Gnejs	79 \pm 11.1	50 \pm 4.7	-15.6 \pm 1.5	-18
2014/15 (1) ^a	% marktäckning, höst	% marktäckning, vår	$LT_{50\ 24\ Nov}$, °C	LT_{50min} , °C
Ceylon	90 \pm 0.9	91 \pm 3.2	-14.0 \pm 0.4	-23
Premio	98 \pm 1.2	96 \pm 4.4	-9.9 \pm 0.8	-16
Gnejs	67 \pm 3.9	75 \pm 6.9	-10.9 \pm 0.5	-18
2014/15 (2) ^b	% marktäckning, höst	% marktäckning, vår	$LT_{50\ 24\ Nov}$, °C	LT_{50min} , °C
Ceylon	90 \pm 2.0	84 \pm 12.0	-14.4 \pm 0.8	-23
Premio	92 \pm 1.6	83 \pm 10.3	-10.1 \pm 0.2	-16
Gnejs	23 \pm 1.7	7 \pm 1.1	-13.7 \pm 0.8	-22

^aSådd 10 september 2014, ^bSådd 6 oktober 2014

3.3 Simulerad aktuell frosttolerans (LT50) och marktäckning

FROSTOL simulerade ingen vinterskada för försöksfältet på Säby varken vintern 2013-14 eller 2014-15. I sortförsöken från 2011-12 och 2012-13 (Tabell 1) varierade skillnaden mellan FROSTOL-simulerad vinterskada (marktäckning) och observerad marktäckning mellan försöksplatserna (Tabell 3). Bland de 13 sortförsöken från 2011/12 var de bästa prediktionerna förfälten i Motala och Klagstorp med en genomsnittlig skillnad på 3 respektive 6 % marktäckningsenheter mellan simulerade och observerade värden. För Ingelstorp och Grästorp var prediktionen av observerad LT50 lägst (35 och 38 %-enhet skillnad mellan simulerad och observerad utvintring). För de flesta försöken överskattade FROSTOL modellen den observerade utvintringen. Prediktionerna var sämre för sorter med låg beräknad maximal frosttolerans än för de med hög frosttolerans. Den genomsnittliga skillnaden mellan simulerad och observerad utvintring för sorterna Ceylon, Ellvis, Frontal,

Kepler och Pentadur var 6, 11, 16, 28 respektive 27 procent-enheter. För de sju sortförsöken i Norge 2012/13 underskattade prediktionen (Tabell 3) för de flesta försöken den observerade utvintringen (högst precision i Apelsvoll och Skotselv och lägst precision i Sarpsborg och Sem). Den genomsnittliga skillnaden mellan simulerad och observerad utvintring för sorterna Bjørke, Ellvis, Frontal och Cobalt var 31, 40, 49 respektive 44 %-enheter.

Tabell 3. Simulerad (Sim) och observerad (Obs) procent vinterskada för utvalda höstvetesorter i svenska (S) fältförsök 2011/12 och fyra sorter från norska (N) fältförsök 2012/13 med beräknad maximal frosttolerans ($LT_{50min} = LT_{50c}$) från -16 °C till -23 °C.

Sort	Ceylon		Bjørke		Ellvis		Frontal		Kepler		Cobalt		Pentadur	
	LT _{50c} : -23		LT _{50c} : -22		LT _{50c} : -22		LT _{50c} : -20		LT _{50c} : -18		LT _{50c} : -18		LT _{50c} : -16	
Fält	Sim	Obs	Sim	Obs	Sim	Obs	Sim	Obs	Sim	Obs	Sim	Obs	Sim	Obs
Furulund (S)	8	5			13	5	30	15	64	40			100	80
Järpås (S)	2	10			3	12	8	7	19	7			46	17
Borrby (S)	6	0			8	0	7	0	34	0			63	0
Ängelholm (S)	33	7			47	96	92	99	100	100			100	100
Klagstorp (S)	4	10			7	15	15	20	34	25			90	85
Vreta kloster (S)	7	1			7	2	18	6	42	7			83	85
Eskilstuna (S)	2	0			4	0	10	0	29	0			69	50
Grästorp (S)	8	2			13	7	34	2	70	7			97	13
Vallåkra (S)	9	3			14	6	33	15	78	38			100	82
Eldsberga (S)	5	5			7	30	15	46	33	88			67	94
Ingelstorp (S)	9	0			16	5	41	5	82	15			100	45
Motala (S)	1	0			1	0	2	0	5	5			12	0
Laholm (S)	20	20			23	20	33	62	51	50			80	97
Sarpsborg (N)			0	28	0	64	1	84			5	92		
Sem (N)			6	97	6	97	19	100			50	100		
Skotselv (N)			80	66	50	54	93	64			98	68		
Sørum (N)			1	13	1	25	3	51			11	69		
Hov (N)			5	36	5	46	15	54			44	55		
Apelsvoll (N)			5	17	5	15	14	12			46	53		
Ilseeng (N)			0	26	0	45	1	63			6	74		

3.4. Effekter av osäkerhet i marktemperaturdata

Både uppmätt marktemperatur och LT50 som simulerades med observerad marktemperatur, predikterades bättre då marktemperaturen beräknades med den processbaserade simuleringsmodellen SOIL, än med de enklare modellerna, både för säsongen 2013-14 och 2014-15. Skillnader i modellernas förmåga att prediktera marktemperaturen återspeglades framförallt i förmågan att prediktera de dagliga skillnaderna mellan marktemperaturen och LT50. SOIL modellen kräver dock mycket information om markegenskaper som ofta inte är tillgängliga i praktisk odling, men studien påvisar att osäkerheter i prediktioner av frosttoleransen kan vara orsakad av begränsad platsspecifik markinformation. För detaljerade resultat se Persson et al. (2016).

3.5. Risk för frostsador

Projektet har lagt en bas för bedömning av risken för att en sort med känd frosttolerans (LT50min) kan utvintra den kommande vintern. Risken beror på hur marktemperaturen ($T_s(2\text{ cm})$) och frosttoleransen (LT50) varierar i förhållande till varandra under vinterhalvåret, och hur dessa variationer varierar mellan olika år för det rådande klimatet. Vi har illustrerat detta för lerjorden vid Ultuna (Uppsala) för en medelhårdig sort (LT50 = $-18\text{ }^\circ\text{C}$). SOIL modellen användes för att simulera marktemperaturen på 2 cm djup för en längre period (20010101 - 20150428), dvs för de 14 vintrarna 2001/2 - 2014/15, som i sin tur användes för att simulera frosttoleransen (LT50) med FROSTOL modellen. Skillnaden mellan $T_s(2\text{cm})$ och LT50 är underlag för att bedöma risken för utvintring. Detta visar att de två vintrarna med fältförsök (2013/14 och 2014/15) var relativt milda men likväl med bra härdningsförhållanden, och att risken för utvintring har varit låg dessa två år (Fig. 1). En grov bedömning från Fig. 1 antyder en betydande utvintringsrisk för 3-4 vintrar (av 14), men en noggrannare analys kräver motsvarande beräkning som för Tabell 3 ovan.

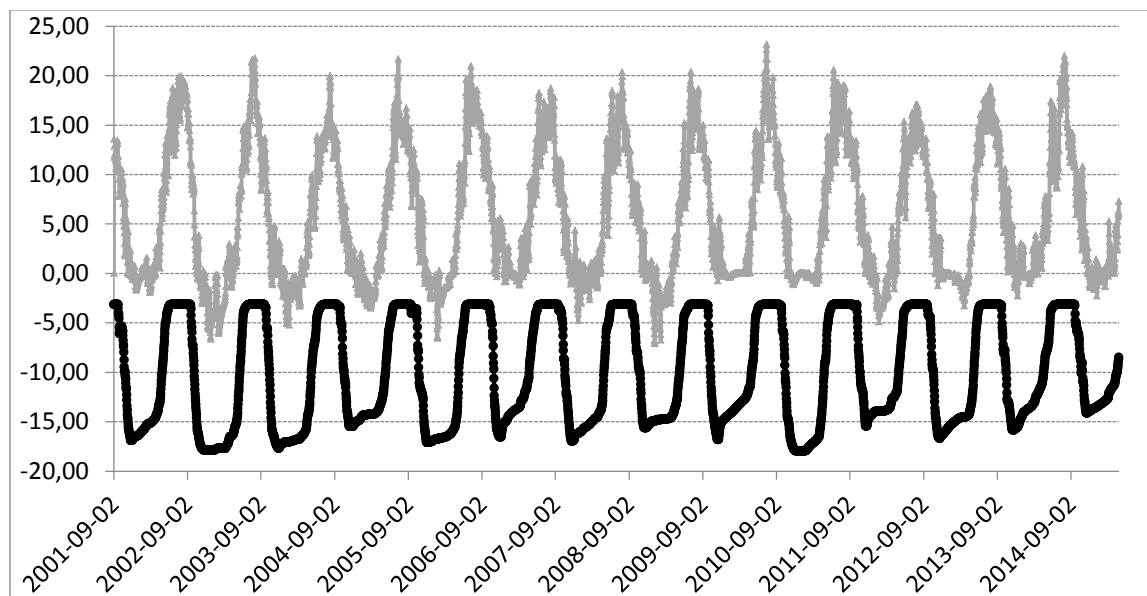


Fig. 1. Simulerad marktemperatur på 2 cm djup i en lerjord på Ultuna med SOIL-modellen (övre kurvan), och motsvarande simulerad aktuell frosttolerans för höstvetete med en maximal frosttolerans på $-18\text{ }^\circ\text{C}$. Indata till SOIL-modellen är från Ultuna klimatstation och Persson et al. (2016)

4. Diskussion

Beräkningen av den maximala frosttoleransen (LT50min) för de fem sorterna i försöken på Säby gav ganska olika resultat 2013/14 och 2014/15. Hösten 2013 verkade plantornas faktiska härdning ha inträffat senare än den FROSTOL-simulerade härdningen så att beräknat LT50min blev högre (mindre negativ) än förväntat. Till exempel var LT50min för sorten Björke $-19\text{ }^\circ\text{C}$, medan den i tidigare försök har LT50 min varit ca $-24\text{ }^\circ\text{C}$ (Bergjord et al., 2008). De fortsatta studierna i projektet som byggde på dessa laborativa LT50 bestämningar (LT50 bestämningar för fler sorter och simuleringar av marktäckningar) tog utgångspunkt i resultaten från de laborativa analyserna hösten 2014.

Resultaten från detta projekt visade en varierande förmåga att med FROSTOL modellen prediktera observerad marktäckning i fältförsök utlagda på platser med olika klimat och mellan sorter med olika köldhärdighet. En orsak till variationen i prediktion mellan försöksplatser kan vara olika avvikelser mellan faktisk markttemperatur och snödjup i försöksfälten och den beräknade markttemperatur och snödjup som användes som input till FROSTOL simuleringarna. Som visades i markttemperaturstudien (Persson et al. 2016) är beräkningar av markttemperatur baserad på endast lufttemperatur och snötäcke osäkra. Dessutom kan avvikelser mellan faktisk snödjup och de snödjupsdata som användes i FROSTOL ha bidragit till osäkerheter. Om veteplantorna under köldperioder täcks av isolerande snö eller inte kan ha stor betydelse för graden av utvintring. Skillnader i orsaker till utvintring som inte tas i beaktning i FROSTOL modellen, i synnerhet svampangrepp, mellan försöksplatserna kan också ha bidragit till resultaten. Skillnader i prediktionsförmåga mellan sorter i samma försök skulle dels kunna förklaras med olika avvikelser mellan faktisk LT50min och beräknad LT50min för de olika sorterna. På samma sätt kan skillnader i mottaglighet för utvintringssvampar mellan sorter bidra till sortskillnader i prediktion av utvintring i samma försök. En tredje orsak till skillnaderna mellan observerad och simulerad utvintring mellan sorter och platser kan vara avvikelser mellan observerad och faktisk marktäckning vår och höst. Om vi avser att göra en förutsägelse av tre grova klasser (utvintring = 0 -33 %; ej utvintring = 67 - 100%; och delvis utvintring = 34 - 66%), med motiveringen att det är osäkert till vilken grad de överlevande växternas plasticitet kan kompensera för en viss utvintring, liksom vid vilken utvintringsgrad jordbrukare väljer att så om, så är modellprediktionerna i Tabell 3 mycket goda för vissa sorter. För Ceylon predikterades 13 rätt av 13 möjliga, för Ceylon 6 av 7, för Ellvis 12 av 13 i Sverige och 3 av 7 i Norge, för Frontal 11 av 13 i Sverige och 2 av 7 i Norge, för Kepler 8 av 13, för Cobalt 3 av 7, samt för Pentadur 9 rätt av 13 möjliga (antagit $\pm 5\%$ noggrannhet i observationerna). Denna prediktionsförmåga avser främst variationer mellan lokaler och uppvisar uppenbara brister för vissa sorter och mer för norska än svenska förhållanden. Variationer mellan år återstår att undersökas på motsvarande sätt.

Vintrarna i Säby 2013-14 och 2014-15 var så milda att ingen utvintring på grund av låga temperaturer inträffade i någon av sorterna i försöken. Idealt sätt för att testa och anpassa marktäckningsfunktionerna i FROSTOL modellen till olika sorter hade vi önskat en partiell utvintring i sorterna. Jämförelsen mellan marktemperaturerna på Ultuna några kilometer från Säby vintersäsongerna 2000-01 till 2014-15 visade att säsongerna med försök hade högre markttemperatur än genomsnittet för denna period (se Fig. 1). Denna jämförelse illustrerar vidare svårigheterna att designa ett försök med syftet att anpassa FROSTOL och utvintringsmodeller för höstvet till olika sorter, en svårighet som i princip är densamma som för odlaren när denne ska avgöra risken med att så en viss sort. För att öka sannolikheten att erhålla bra kalibreringsdata kan försök liknande de som utförts i detta projekt upprepas ett stort antal gånger, under olika år och eller på olika platser (vilket dock skulle kräva en betydande rationalisering av försöksmetodiken för att vara praktiskt genomförbart). En möjlig väg att hantera detta problem kan vara att identifiera eventuella mönster mellan höst- och vinterväder under historiska perioder på olika platser med höstveteförsök. Om samband mellan en specifik typ av höstväderlek och vinterväderlek som kan förväntas ge partiell utvintring av höstvet kan identifieras skulle man sedan vid observation av sådan höstväderlek i sortförsök i realtid sätta in resurser för att bestämma frosttolerans och marktäckning enligt de metoder som vi använt i detta projekt.

5. Resultatförmedling och publicering

En referensgrupp bestående av Björn Andersson, Fältforsk, SLU; Desirée Börjesdotter, Lantmännen, Niklas Ingvarsson, Svenska Foder, Einar Strand, Norsk Landbruksrådgiving och Nils Yngveson, Hushållningssällskapet (HIR Skåne), har varit knuten till projektet. Möten med referensgruppen har arrangerats våren 2013 (fysiskt möte på SLU, Uppsala), och våren 2014 och våren 2015 (telefonmöten).

Vetenskapliga publikationer och presentationer:

- Persson, T., Bergjord Olsen, A K., Sindhoj, E., Nkurunziza, L., Eckersten, H., 2016. Estimation of crown temperature of winter wheat and the effect on simulation of frost tolerance (Journal of Agronomy and Crop Science; reviderad version inskickad 2016-05-19)
- Bergjord Olsen, A K., Persson, T., Sindhoj, E., Nkurunziza, L., Eckersten, H., Estimating winter survival of winter wheat by simulations of plant frost tolerance (manuscript under arbete)
- Bergjord Olsen, A K., Persson, T., Sindhoj, E., Nkurunziza, L., Eckersten, H., 2015 Estimating winter survival of winter wheat by simulations of plant frost tolerance Presentation på "Agriculture and Climate Change - Adapting Crops to Increased Uncertainty" konferens, Amsterdam, Nederländerna 15-17 februari 2015.
- Eckersten H, Bergjord AK, Persson T, Sindhoj E, Nyman P, 2014. Väder, klimat och tillväxtmodeller. I Elmquist H och Arvidsson J (red). Orsaker till stagnerande skördar i Sverige och framtida möjligheter. Rapporter från jordbearbetningen, Sveriges lantbruksuniversitet, Rapport nr 129. sidor 133-153
- Nkurunziza, L.; Bergjord Olsen, A K., Persson, T., Sindhoj, E., Eckersten, H., 2013. Utvintring av höstvetete, frostsador och sortskillnader. Presentation på "Höstvetete mot nya höjder" tema dagen ordnat av "Odling i Balans", Linköping den 22/01/2013.
- Eckersten H, Bergjord AK, Nkurunziza L, Persson T, Sindhoj E, 2015. Övervintring i höstvetete - Hur kan vi förutse detta om vi råkar veta hur vädret blir? Presentation av projektet vid seminariet "Övervintring av höstsådda grödor" i Alnarp 2015-04-20 arrangerat av Partnerskap Alnarp i samarbete med HIR Skåne och Fältforsk Ämneskommitte Odlingssystem SLU.

Referenser

- Bergjord, A.K., Bonesmo, H., Skjelvag, A.O., 2008. Modelling the course of frost tolerance in winter wheat I. Model development. European Journal of Agronomy 28, 321-330. Fältforsk, 2012. Försökshandboken. www.ffe.slu.se
- Kätterer, T., Andrén, O., 1995. Measured and simulated nitrogen dynamics in winter wheat and a clay soil subjected to drought stress or daily irrigation and fertilization. Fertilizer Research 44, 51-63.
- Limin, A.E., Fowler, D.B., 1988. Cold hardiness expression in interspecific hybrids and amphiploids of the Triticeae. Genome 30, 361-365.
- Ritchie, J.T., 1991. Wheat Phasic Development. In: Hanks, R.J., Ritchie, J.T. (Eds.), Modeling Plant and Soil Systems. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI, pp. 31-54.
- Vico, G., Hurry, V., Weih, M., 2014. Snowed in for survival: Quantifying the risk of winter damage to overwintering field crops in northern temperate latitudes. Agricultural and Forest Meteorology 197, 65-75.

6. Ekonomisk redovisning

Innehavare_samt_tjänstebeteckning	År1-3	Ansökt SLF
Henrik_Eckersten	357 779	
Libere_Nkurunziza	163 298	
Sociala_avgifter (inkluderade ovan)		
Delsumma_tjänster	521 077	401 148
Material		
hyra_Fryskammare_och_växtmaterial		
Delsumma_Material	26 040	150 000
Resor		
projektgrupp_inkl_konf_deltagande		
referensgrupp (inklusive arvode)		
Delsumma_Resor	38 543	90 000
Övrigt		
inköp_av_Anne_Kari_Bergjords_arbetstid_inkl_omkostn		
och Tomas_Perssons_arbetstid_inkl_omkostn (NIBIO)	948 590	880 000
inköp_av_Erik_Sindhöj_arbetstid_inkl_omkostn (JTI)	289 595	290 000
Div (t ex valutakostnader)	10 410	
Delsumma_Övrigt	1 248 595	1 170 000
Omkostnadspålägg	147 372	184 528
Projektkostnader	1 981 627	1 995 676
Erhållna medel	1 931 627	
Kvar att rekvirera	50 000	

Det ekonomiska utfallet skiljer sig jämfört med ansökan främst vad avser material och lokalkostnader för frystester i Uppsala. Det visade sig att möjligheterna till dessa tester var alltför begränsade för projektets syften. Vi beslutade då att testerna skulle utföras vid NIBIO i Kvithamar med samma metodik som använts vid tidigare studier, och därmed direkt jämförbara med de resultat som ligger till underlag för utvecklingen av FROSTOL modellen. Vi löste detta genom att transportera fältproverna från Uppsala till Kvithamar. Detta gjordes 2013 av Eckersten vid SLU och 2014 av Sindhöj vid JTI. De svenska forskarna bistod testen i Kvithamar, dels som arbetskraft, dels för att lära sig metodiken. Detta förklarar varför delar av budgeten omfördelats från material till lön vid SLU. Ett annat skäl till ökad andel lön vid SLU är att vårt projekt bidrog till ett kapitel (Eckersten m fl. 2014) i forskningsrapporten "Orsaker till stagnerande skördar i Sverige och framtida möjligheter" (Elmqvist och Arvidsson, 2014). Dessutom, som en konsekvens av ändrade anställningsförhållanden för Eckersten vid SLU (en oförutsedd deltidspensionering med 30%) ombads Persson vid NIBIO att dela arbetet med projektledarskapet. Det gjordes en omfördelning till NIBIO med 70 kSEK för att kompensera för de merkostnader som detta ledarskap orsakat dem. Dessutom uppstod vissa extrakostnader för konsulterna pga att frystesterna utfördes vid NIBIO. Att utgifterna för resor blivit mindre än budgeterat beror huvudsakligen på att konsulternas resor ingår i övrigt och att Skypemötena fungerat mycket bra.